UNIVERSITÉ DE STRASBOURG - FACULTÉ DE PHARMACIE

Année scolaire 1936-1937 *N° 163*

ETUDE

SUR

LES EAUX D'ALIMENTATION DE VESOUL

THÈSE

13 FEV. 1937

présentée et soutenue publiquement à la
FACULTÉ DE PHARMACIE DE STRASBOURG
pour obtenir le grade de Docteur de l'Université (mention Pharmacie)

PAR

Georges GARRET ✲ ✲

PHARMACIEN
Ex-Interne des Hôpitaux de Paris
Adjoint au Maire de Vesoul
Membre du Conseil départemental d'Hygiène de la Haute-Saône

EXAMINATEURS DE LA THÈSE :

MM. P. LAVIALLE *Professeur,* Président
A. SARTORY, *Doyen de la Faculté* } Juges
Ch. LAPP, *Professeur* }

VESOUL
Ancienne Imprimerie Cival

1937

Thèse Strasbourg
1937.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548005_0063

ETUDE

sur

LES EAUX D'ALIMENTATION

de

VESOUL

ETUDE

Hydrogéologique, historique, chimique, bactériologique

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG - FACULTÉ DE PHARMACIE

Année scolaire 1936-1937 *N° 163*

ETUDE

SUR

LES EAUX D'ALIMENTATION DE VESOUL

THÈSE

13 FEV. 1937

présentée et soutenue publiquement à la
FACULTÉ DE PHARMACIE DE STRASBOURG
pour obtenir le grade de Docteur de l'Université (mention Pharmacie)

PAR

Georges GARRET ✲ ✲

PHARMACIEN
Ex-Interne des Hôpitaux de Paris
Adjoint au Maire de Vesoul
Membre du Conseil départemental d'Hygiène de la Haute-Saône

EXAMINATEURS DE LA THÈSE :

MM. P. LAVIALLE *Professeur,* Président
A. SARTORY, *Doyen de la Faculté* } Juges
Ch. LAPP, *Professeur* }

VESOUL
Ancienne Imprimerie Cival

1937

* 39072

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

FACULTÉ DE PHARMACIE

ADMINISTRATION

MM. A. SARTORY, *Doyen*, C ❋, I. ⁂, C. ⁂
VOLMAR, *Assesseur*
CUVIER, *Secrétaire* A. ⁂

DOYEN HONORAIRE

M. JADIN, O. ❋, I. ⁂, ⁂

PROFESSEURS

MM.	A. SARTORY, C. ❋, I. ⁂, C. ⁂	Bactériologie
	LAVIALLE, I. ⁂, ⁂	Botanique
	VOLMAR, I. ⁂	Chimie organique
	GUILLAUME, ❋, ⁂, I. ⁂, ⁂	Pharmacie galénique
	LAPP, I. ⁂	Chimie analytique
	(CORDIER, chargé du cours) ⁂	Pharmacie chimique
	(R. SARTORY, chargé du cours) ⁂	Matière médicale

PROFESSEUR HONORAIRE

M. JADIN, O. ❋, I. ⁂, ⁂.

CHARGÉ DES FONCTIONS D'AGRÉGÉ

M. R. SARTORY, ⁂.

COURS COMPLÉMENTAIRES

MM.	A. SARTORY	Hygiène
	LAVIALLE	Hydrologie
	VOLMAR	Chimie minérale
	GUILLAUME	Zoologie
	LAPP	Physique
	EISENMANN	Législation et Déontologie
	CORDIER	Chimie biologique
	R. SARTORY	Cryptogamie
	DUQUENOIS	Toxicologie

CHEFS DE TRAVAUX PRATIQUES

MM.	R. SARTORY	Bactériologie et Parasitologie
	COLLARD, I. ⁂, ⁂	Chimie pharmaceutique
	BOHN, A. ⁂	Histoire naturelle
	DUQUENOIS	Chimie et Physique

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

à la mémoire

de mon Père et de ma Mère

de mon Beau-Père C. FERRY, pharmacien

de mon Oncle A. BARDEZ

à ma femme

à mes enfants

à mes frères et à mes sœurs

à mes parents et à mes amis

à mon Président de Thèse

Monsieur le Professeur LAVIALLE

à mes Juges

Monsieur le Doyen SARTORY

Monsieur le Professeur LAPP

à mes anciens Maîtres de

La Faculté de Pharmacie de Paris

à Monsieur René VEIL, Maire de Vesoul

et à mes Collègues du Conseil Municipal

IMP. M. PATTEGAY, Luxeuil

Cliché LARCHER

Cette vue donne une idée assez exacte du site de VESOUL. Sur le bord, à droite, les curieux rochers ruiniformes du SABOT de FROTEY. Au second plan se détache très nettement La MOTTE, beau type de "butte témoin". A l'horizon se profilent les collines pré-jurassiennes. C'est dans leurs dépressions ou sur leurs flancs que prennent naissance les meilleures sources des environs, comme LA FONTAINE FERME, LA FONTAINE AU DIABLE et LA SOURCE DE SOLBORDE. Les puits de la nappe alluviale ont été forés dans l'endroit marqué *.

AVANT-PROPOS

La cause de l'eau saine et abondante connaît la rare faveur d'une approbation quasi-générale. Ce résultat n'a été acquis qu'après de nombreux travaux et des controverses souvent serrées ; mais ses excellents défenseurs armés de solides arguments, sont parvenus sans peine à rallier les derniers hésitants. De ce côté donc, l'unanimité semble bien acquise, aucune objection sérieuse ne viendra s'élever, et partant, nul besoin est de rouvrir des débats définitivement clos.

Pourquoi donc tant de difficultés dans la réalisation d'une si juste cause ?

Sans doute, il y a progrès, mais combien lent et timide. On ne constate même pas, sans étonnement, que notre époque, si soucieuse de bien-être matériel semble assez en retard de ce côté. Alors que, par exemple, les communes, non électrifiées vont devenir très rares, on ose à peine donner le nombre des centres même importants dépourvus complètement d'adduction d'eau potable.

En réalité, on se trouve en face d'un problème compliqué qui peut paralyser les meilleures volontés. Sans vouloir l'envisager dans son ensemble, — rien qu'à elle seule, la technique de l'art de l'ingénieur peut faire l'objet de copieux traités, — il semble suffisamment dominé par les importantes questions de quantité et de qualité qui sans cesse interviennent avec

toutes leurs exigences et la réalisation de chacune d'elles implique déjà le déploiement de recherches assez particulières.

Comment et où d'abord trouver la quantité d'eau suffisante pour l'alimentation d'une collectivité ?

Si, excepté certaines régions très déshéritées, rares d'ailleurs dans nos pays, on arrive à rencontrer facilement des points d'eau, il convient de déterminer si leur débit demeurera suffisant en toutes saisons. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que les nécessités hygiéniques et sociales sont telles que d'abord la consommation d'eau va toujours en augmentant, ce qui est suffisant un jour ne le sera peut-être plus le lendemain et qu'ensuite cette consommation atteint son maximum dans les périodes de sécheresse, précisément quand toutes les émergences naturelles voient leur débit très réduit.

Avant donc d'engager une dépense toujours importante, la plus élémentaire prudence sera de bien savoir où l'on va, ce que le point d'eau envisagé pourra donner, de délimiter exactement les besoins actuels de l'agglomération et les prévisions nécessaires pour l'avenir.

La question qualité va maintenant entrer en jeu, et ici, nous serons dans notre domaine et nous nous y intéresserons tout spécialement. Nous serions tentés d'appliquer à l'eau ce que le vieil Esope disait de la langue : « La meilleure et la pire des choses. » L'eau reste indispensable à la vie sans doute, mais mauvaise, cette eau peut occasionner pour la santé de graves inconvénients.

Après avoir donc trouvé la quantité d'eau nécessaire, on devra s'assurer de sa pureté.

Sur quoi se baser ?

Oui, c'est entendu, nos conceptions ont souvent changé. En cela, comme en bien des choses, une évolution selon les idées scientifiques nouvelles ne saurait nous étonner.

Le temps n'est plus où une eau fraîche et claire comme de l'eau de roche semblait la perfection indiscutable.

Les premiers progrès de la chimie qui permirent de pénétrer plus avant dans la composition des éléments qui nous entourent fixèrent des limites assez étroites dont les eaux potables ne devaient pas s'écarter.

Les belles découvertes de la bactériologie et de la biologie apportèrent encore à l'idée de pureté un sens nouveau et plus sévère pour la qualité que l'on devait exiger de ces mêmes eaux.

Et voilà qu'aussi et très justement, l'hydrologie, appuyée sur une sérieuse connaissance géologique du sol vient presque en premier lieu préciser le bien-fondé des arguments pour justifier la quantité et qualité de ces mêmes eaux.

En réalité, tous ont raison car les uns et les autres se complètent. C'est une étude très complexe entre toutes que de rechercher d'abord et ensuite de diagnostiquer en quelque sorte un point d'eau.

Les limites trop étroites, les standarts trop rigoureux seront écartés ; les décisions à prendre restent subordonnées à des quantités de conditions qui entrent en jeu, et, après l'ensemble des résultats fournis par l'enquête géologique, l'examen physique, les analyses chimiques et bactériologiques souvent répétées, le bien-fondé d'une opinion pourra seulement se préciser. Tout est, au total, cas d'espèce et d'interprétation.

Envisagé sous cet aspect, le problème de l'eau potable, si varié et si complexe, en même temps que si important de conséquences, revêt une ampleur particulière. Il reste à l'ordre du jour, il exerce largement la sagacité de ceux qui l'abordent, et justifie les copieuses bibliographies qu'il a fait ou fera éclore.

Au moment où la ville de Vesoul vient de réaliser un gros effort pour compléter son adduction d'eau, il nous a semblé

qu'il y aurait peut-être quelque intérêt à présenter ces récents travaux, à expliquer pourquoi telle ou telle solution s'imposait et comment on en a envisagé l'exécution, à dire aussi ce qui existait dans le passé proche ou lointain et de quelle façon on alimentait la ville en eau potable aux différentes époques.

L'intérêt s'est vite augmenté pour nous du fait que d'abord tout ce qui touche notre ville ne saurait nous laisser indifférent et qu'ensuite ces nouveaux travaux nous les avons suivis depuis leur origine jusqu'à leur achèvement.

M. René Veil, en prenant la direction de la tâche municipale, n'ignorant rien de l'importance du problème de l'eau, a tenu, tout de suite, à résoudre cette question dont l'urgence s'imposait. Avec nos collègues de la Commission des Eaux et guidés par les avis si autorisés de M. Joly, ingénieur voyer, chargé de réaliser techniquement le projet, nous devions, sans plus tarder, rechercher et proposer la meilleure solution pour parfaire l'alimentation de la ville.

C'est le résultat de ce travail, complété dans un sens plus général et plus précis à la fois, que nous voudrions exposer, et par ce qui suit on va mieux en saisir les divisions.

Avec très juste raison, et avant d'entreprendre une adduction d'eau, les excellents règlements du Comité Supérieur d'Hygiène préconisent une enquête géologique aussi serrée que possible et une connaissance exacte du sol et du sous-sol de la région.

On tient, en effet là le fil directeur qui permet de reconnaître la bonne route, de dire presque à coup sûr : ici, on trouvera une quantité d'eau suffisante et cette eau, voilà vraisemblablement ce qu'elle vaudra, lorsque le projet sera réalisé.

Il y a longtemps que Pline écrivait : « Tales sunt aquae qualis est terra per quam fluant. » Il est clair, en effet, que si la naissance d'un point d'eau reste en fonction directe de la

nature du terrain, la minéralisation de cette même eau, qu'elle chemine à la surface du sol ou qu'elle s'étale en nappes ou en filets dans son intérieur reflètera, avec fidélité la composition des différentes couches.

La question géologique domine donc entièrement la question de l'eau. Il s'agit, en somme, d'une vraie prospection de mines dont le minerai à trouver serait l'eau. Aussi, après une courte synthèse de géographie locale pour placer la région de Vesoul qui nous occupe dans son ensemble, et en insistant sur le côté climat qui influence directement le débit des sources, nous avons donné une description géologique assez détaillée des terrains des environs, et dressé un inventaire de ce que l'on peut attendre des points d'eau susceptibles d'attention.

Au surplus, et aux reproches de longueur, l'utilité de cette enquête rejoint l'intérêt que nous avions pris à nos excursions géologiques d'autrefois où, en compagnie d'excellents camarades, nous recherchions dans les gisements environnants les fossiles les plus caractéristiques.

Comme il est très important, avant d'entreprendre un complément d'adduction de fixer sur des bases précises la quantité d'eau à fournir en toutes saisons et de la répartir pour le mieux, une courte étude du passé historique de la ville n'est pas déplacée avec quelques précisions, sur son développement aux différentes époques et sur celui que l'on peut raisonnablement prévoir.

Tous les documents concernant les eaux de Vesoul ne sont jamais sortis des archives où ils restent un peu épars. Une étude sur ce sujet se doit donc de les réunir et de dire ce qu'autrefois on avait réalisé et ce qui existait, ne serait-ce que pour en tirer la conclusion que toujours, même assez loin dans le passé, ceux qui avaient à charge les intérêts de la cité se sont appliqués à résoudre l'important problème de l'alimentation en eau.

Après ces exposés généraux et en quelque sorte rétrospectifs, nous avons décrit minutieusement les méthodes employées pour les analyses chimiques et bactériologiques que nous avons effectuées.

Enfin, toujours au triple point de vue hydrologique, chimique et bactériologique, nous donnons une étude détaillée des points d'eau servant à l'alimentation de la ville, c'est-à-dire des sources de la Fontaine Ferme, de la Fontaine au Diable et des puits de la nappe alluviale de Frotey.

Pour mener à bien cette modeste étude, nous avons fait appel à d'obligeants concours, et nous ne mettons aucune mauvaise grâce à le reconnaître.

Il était peut-être osé de notre part, alors que nous avions quitté, depuis bien des années, les études théoriques de nos écoles, et alors que les obligations professionnelles sont si absorbantes d'entreprendre ce travail.

Mais l'enseignement de nos Maîtres des Facultés de Pharmacie est à la fois si vivant et si profond que le pharmacien est tout à fait à pied d'œuvre et très préparé pour aborder une étude sur les eaux. Pourquoi n'en serait-il pas de ces études comme de beaux livres d'une bibliothèque qui ne doivent pas seulement servir à la satisfaction du collectionneur fier de telle édition ou de telle reliure ? Pourquoi, certes, de temps en temps ne pas y puiser largement et en extraire la « substantifique moelle », comme disait Montaigne ?

Ces excellents concours nous les avons trouvés au premier chef, et très largement, à la Faculté de Pharmacie de Strasbourg.

M. le Doyen Sartory, toujours, et depuis longtemps, à l'avant-garde du mouvement scientifique a bien voulu nous laisser présenter cette thèse.

Dès l'abord, nous tenons à le remercier et de sa bienveillance et de ses précieuses directives dont nous avons maintes fois apprécié toute la valeur.

Monsieur le Professeur Lavialle s'est vite souvenu du temps où, à l'Ecole de Paris, il nous apprenait à nous pencher sur un microscope et à comprendre les coupes histologiques qui déjà pour lui n'avaient plus de secret. Notre travail s'est trouvé très facilité avec un guide si sûr.

Nous assurons également Monsieur le Professeur Lapp qui a bien voulu faire partie du jury de notre respect et de notre gratitude.

Nous sommes bien reconnaissants à M. Dreyfuss, le distingué maître de conférences du Laboratoire de géologie de la Faculté de Besançon, puis de Montpellier, de ses conseils. La géologie est une science stricte ; on risque de commettre de grossières erreurs avec une imperturbable sérénité. Avec lui, nous avons pu nous y reconnaître un peu dans le dédale de la superposition des différentes assises, dans la tectonique et dans quelques-uns des mystères de l'hydrologie.

M. Guillerd, qui dirige avec une si haute autorité le Laboratoire de surveillance des eaux de Paris, ne nous a pas ménagé non plus, ni son concours, ni son temps très précieux. Avec la meilleure bonne grâce, dès que le projet d'adduction a été mis sur pied, il a bien voulu l'examiner en détail, et le présenter à la Commission supérieure d'Hygiène. La Municipalité de Vesoul lui sera toujours reconnaissante de sa grande obligeance. M. Etrillard, son chef de Laboratoire, connaît, sous toutes ses formes, la question des eaux, ses conseils et ses travaux font autorité, nous ne pouvions mieux faire que de les suivre.

Nous avons aussi mille remerciements à adresser au Docteur Maréchal, du Laboratoire de Bactériologie de Besançon,

un des premiers qui se soient occupés de l'hydrologie de la région ; à M. Froissant, directeur du Labo Cooper, à qui on ne fait jamais appel en vain, sachant toujours vous indiquer une méthode sûre que sa pratique de tous les instants lui permet d'apprécier ; à notre confrère Brocard, de Gray, qui nous a donné l'idée de ce sujet de thèse sur les eaux de Vesoul ; la sienne si personnelle et si consciencieuse sur les eaux de Gray, nous a été du plus précieux secours et nous y avons largement puisé ; à M. Hugon, chef dessinateur de la Compagnie de l'Est, qui a mis à notre service son talent ; à nos confrères Bolla, auteur d'un travail de premier plan sur les eaux de sa région ; Brichard, Levy, Dalainzy, Blaire et Kling qui ont bien voulu nous communiquer leurs thèses respectives.

Si cette étude a pu être poursuivie, nous le devons beaucoup à la confiance que nous a témoignée M. René Veil, maire de Vesoul, et nos collègues du Conseil Municipal ; en pouvant leur être bien modestement utile, nous essaierons de les en remercier.

M. Joly, le distingué ingénieur voyer de la ville et tous les employés du service de la Voirie de qui nous ne sommes pas parvenus à lasser l'extrême complaisance ont largement facilité nos recherches.

Enfin, nous n'avons garde aussi d'oublier nos dévoués collaborateurs de la Pharmacie, en particulier MM. Demaison, Roger Blanche, André Demaison.

La haute idée qu'ils se font de la conscience au travail professionnel, le surcroît de tâche qu'ils se sont imposés nous a permis de trouver quelques instants de loisirs pour parachever cette étude.

PLAN ADOPTÉ POUR CETTE ÉTUDE

PREMIÈRE PARTIE

Aperçu géographique de la région de Vesoul, sa place dans l'ensemble du département, le climat.

Géologie de la région de Vesoul, les différents terrains.

Ressources hydrologiques de la région de Vesoul, quelques considérations générales.

Ressources aquifères du Trias et du Lias.

Sources de l'Oolithe inférieure et étude de la Font de Champdamoy.

Niveau aquifère des Alluvions modernes de la vallée du Durgeon et de la Colombine.

Le fer dans les eaux d'alluvion. — Déferrisation des eaux.

Etude historique sur le développement de la ville et sur son alimentation en eau; les moyens proposés aux différentes époques pour l'améliorer.

Deuxième partie

Méthodes d'analyses :

Technique employée pour les analyses chimiques.

Technique employée pour les analyses bactériologiques.

Troisième partie

Etude spéciale des points d'eau servant à l'alimentation de la ville :

La Fontaine Ferme de Navenne.

La Fontaine au Diable à Echenoz.

Les puits de la nappe alluviale de Frotey.

Conclusions.

PREMIÈRE PARTIE

ETUDES GÉOLOGIQUES HYDROGÉOLOGIQUES ET HISTORIQUES

APERÇU GÉOGRAPHIQUE GÉOLOGIQUE & HYDROGÉOLOGIQUE DE LA RÉGION DE VESOUL

Le département de la Haute-Saône n'a aucune homogénéité, géographiquement parlant; il ne ressemble en rien à ses voisins, comme les Vosges ou le Doubs, par exemple, si représentatifs d'un type de région. Il reste une unité administrative qui engloble des contrées profondément dissemblables.

Les unes après les autres, les géographies locales répètent que le département dans son aspect général forme un plan incliné; soit.

Il est exact que du point le plus bas, au Sud-Ouest, au confluent de la Saône et de l'Ognon, à 186 mètres, pour arriver au point le plus élevé, à l'autre extrémité Nord-Est, au ballon de Servance, à 1.150 mètres, on s'élève continuellement par des paliers successifs. Mais rien ne peut plus différer que tous les pays parcourus. On débutera par des plaines ondulées qui rappellent la Bourgogne plate, on continuera par des plateaux arides et secs de type préjurassien, coupés de vallées étroites ou de vastes prairies et enfin on arrivera à une zone montagneuse avec croupes

arrondies assez élevées, que recouvrent comme d'un manteau, de belles forêts; nous sommes alors en pleines Vosges.

Tant de variété dans la géographie indique apparemment une différence profonde dans la nature du sous-sol.

Au point de vue géologique, on distingue en effet, dans le département, plusieurs régions ou mieux des fragments de régions naturelles : Vosges et dépendances, plaine Séquano-Rhodanienne, plateau de Langres, et enfin avancées du Jura.

Dans les Vosges, deux sortes de terrains : les uns, les plus anciens, au cœur de la montagne, composés de roches magmatiques, surtout de schistes cristallins et de granits; les autres, dans la zone sous-vosgienne, forment un gradin moins élevé entre Melisey, Luxeuil, Fougerolles et Vauvillers, appartiennent aux étages sédimentaires du Primaire et du Trias.

Du plateau de Langres se détachent des terrains d'âge jurassique. Ils vont de Jussey, Vitrey, au delà de Champlitte. Trait d'union entre les Vosges et le Morvan, c'est là la zone de séparation du bassin Parisien avec le bassin Séquano-Rhodanien.

Dans ce bassin Séquano-Rhodanien, on trouve les terrains les plus bas du département, les uns secondaires, entourant d'une ceinture les autres tertiaires, contemporains d'un lac similaire au lac Bressan, avec comme axe la vallée de la Saône recouverte d'une assez grande épaisseur d'alluvions quaternaires.

Du côté de l'Est, d'une ligne tirée de Villersexel à Ronchamp, on voit réapparaître de grands plateaux jurassi-

ques, puis des terrains du Trias, prélude des premières avancées du Jura, ou plus exactement du pays de transition de la porte de Bourgogne et d'Alsace.

Avec l'hydrographie, la Haute-Saône retrouve une unité. Dans sa partie occidentale, le département est traversé tout entier par une rivière féconde et tranquille : la Saône. Elle y entre quelques dizaines de kilomètres après sa source, sa vallée restera encore assez longtemps étroite et sinueuse, mais s'élargira au fur et à mesure de sa progression vers le Sud-Ouest.

Toutes les eaux du département, sans exception, en sont tributaires, directement ou indirectement; à droite et à gauche, elle se grossit de nombreux affluents, dont quelques-uns assez importants comme l'Ognon. En abusant peut-être d'une image souvent répétée, nous dirons que c'est l'artère vitale de la région.

Ces quelques caractères étaient nécessaires pour situer dans son ensemble la région de Vesoul qui nous intéresse.

Grand contraste aussi dans ce qu'on est convenu d'appeler la région de Vesoul. Nous disons convenu, car en effet, par région de Vesoul, il ne faut pas chercher une région géographique bien nette, mais tout simplement entendre le périmètre d'un territoire — compris dans la carte géologique ci-contre — de 15 à 20 kilomètres autour de la ville. Ce ne peut être là qu'il est raisonnablement permis de trouver les ressources aquifères nécessaires à l'alimentation collective.

Le même manque d'homogénéité signalé dans l'ensemble du département, nous allons encore le voir dans les environs de son chef-lieu.

Ce grand contraste apparaît tout de suite en imaginant un trait sensiblement horizontal, tracé Est-Ouest, en passant par Vesoul. Il sépare deux régions bien distinctes à tous points de vue. Celle du Nord qui comprend des terrains triasiques et liasiques, fin de la zone sous-vosgienne avec des collines allongées dont les sommités sont arrondies et les pentes fort douces, et celle du Sud, commencement de la zone des plateaux entre les synclinaux de la Saône et ceux de l'Ognon, plateaux calcaires, secs, arides, finissant en falaises ayant subi un rude travail d'érosion qui appellera par la suite de plus amples explications.

Partout hauteurs très moyennes ne dépassant pas dans les sommets les plus élevés 450 mètres, le fond des vallées restant lui-même à 220 mètres environ.

Pas de fortes rivières, quelques gros ruisseaux qui coulent sur les terrains imperméables du Nord ou qui sourdent à flanc de coteau et ne sont que des résurgences ramenant au jour les eaux infiltrées à travers les calcaires fissurés.

Le climat. — Le climat de la région est celui de tout l'Est de la France, compte tenu s'entend de la disposition du relief. Vesoul, remarquablement protégé des vents du Nord, a une température beaucoup plus douce que ses environs même immédiats. On arrive ici au point où le climat rhodanien finit et où le vosgien commence.

Mais si l'influence continentale et l'influence maritime se combattent, dans l'ensemble, l'avantage reste à la seconde, surtout l'été, et les relations atmosphériques se font en réalité beaucoup plus avec la Manche et l'Océan, qu'avec l'Europe méditerranéenne.

Les vents prédominants sont ceux venant du Nord-Est, ils sont secs et vifs, ou du Sud-Ouest, ces derniers amenant des pluies fréquentes et abondantes, surtout l'hiver.

La moyenne de la température reste autour de 11°5 avec des variations brusques. Les extrêmes observés se limitent entre — 18° et + 35°, souvent avec des oscillations rapides surtout l'hiver qui débute tôt et se prolonge tard dans le printemps. L'été, court et brutal, est coupé fréquemment de périodes de refroidissement subites.

La hauteur moyenne des précipitations varie entre 700 et 1.000 m/m. Pas d'uniformité dans les répartitions; un hiver sec succédera à un été pluvieux ou le contraire; à plusieurs mois ininterrompus de pluie, des semaines entières de sécheresse. En général, tout de même, deux maxima se présentent, l'un en été, l'autre en automne, ce dernier le plus important.

Voici d'ailleurs les chiffres relevés dans la station météorologique, la plus proche de Vesoul, à Saint-Albin, sur les bords de la Saône, à 208 mètres :

1935	1089	m/m
1933	925	—
1932	958	—
1931	1091	—
1930	1211	—
1929	516	—
1928	761	—
1927	782	—
1925	880	—
1924	1072	—

La neige tombe à peu près 15 jours par an, mais avec

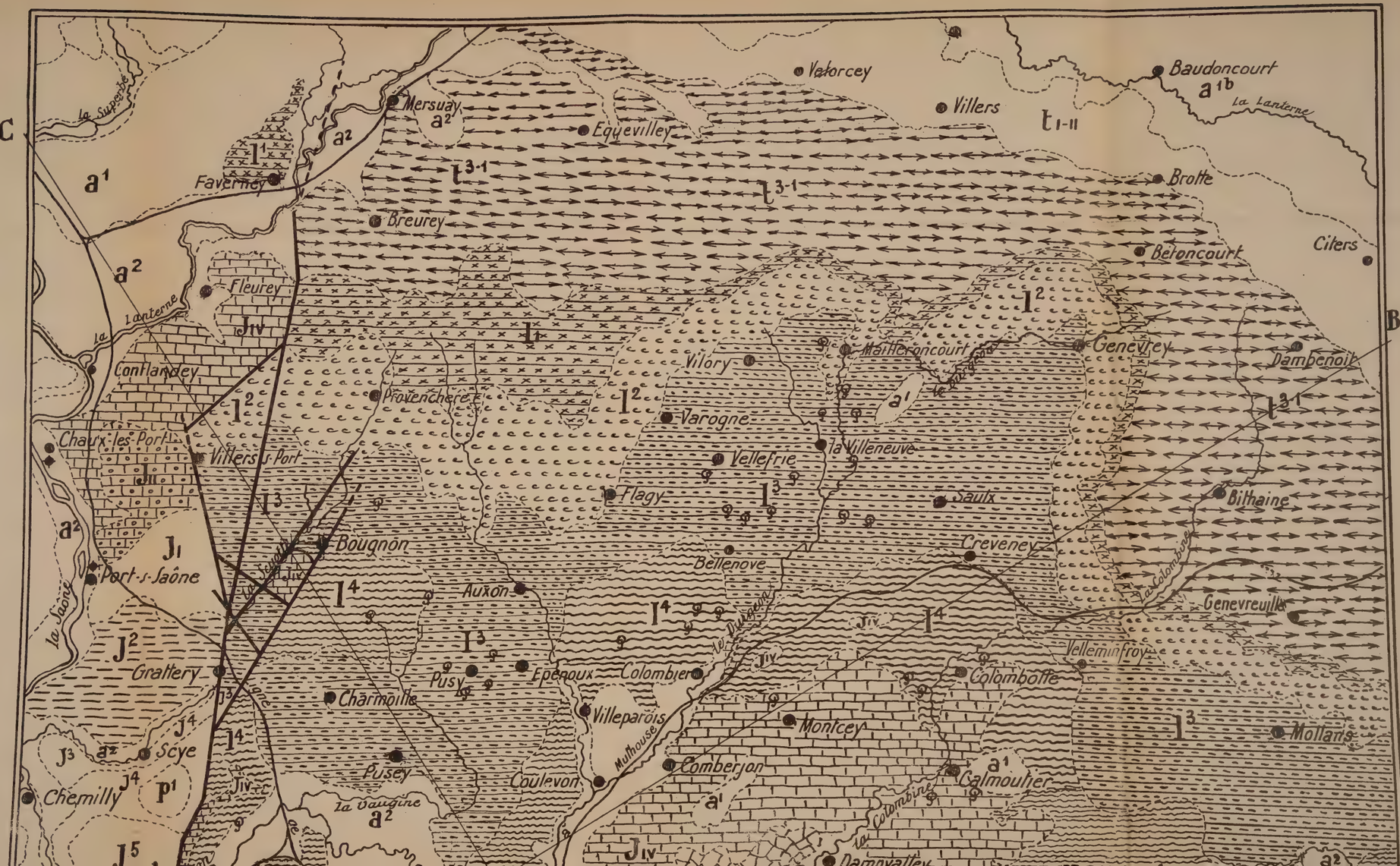
chutes peu abondantes et qui durent rarement plus de quelques jours.

En somme c'est un climat foncièrement irrégulier dont l'humidité constitue le caractère fondamental; et toutes ces considérations pour en tirer la conclusion que, si l'alimentation des sources sera assurée avec un bassin assez réduit, de brusques variations rendront leur débit bien alléatoire.

CARTE GÉOLOGIQUE
des environs
de **VESOUL**

Légende

- t^{3-1} Etages supérieurs du trias — Keuper — t_{I-II} Muschelkalk
- l^1 Rhétien grès infraliasique
- l^2 Lias inférieur — Hettangien Sinémurien
- l^3 Lias moyen — Charmoutien
- l^4 Lias supérieur — Toarcien
- J_{IV} Bajocien — Oolithe inférieur
- J_{III} Bathonien inférieur — Vésulien

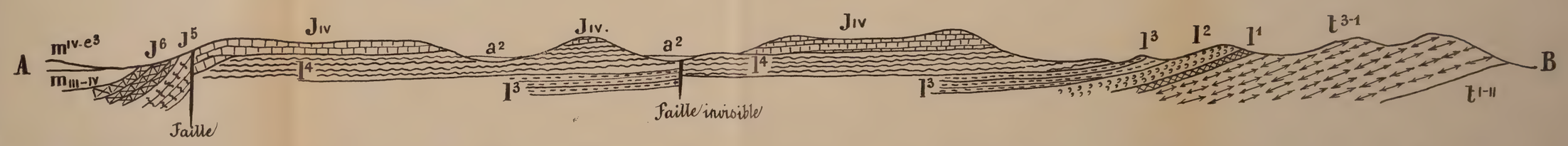


Coupe géologique entre Echenoz et Ste Anne

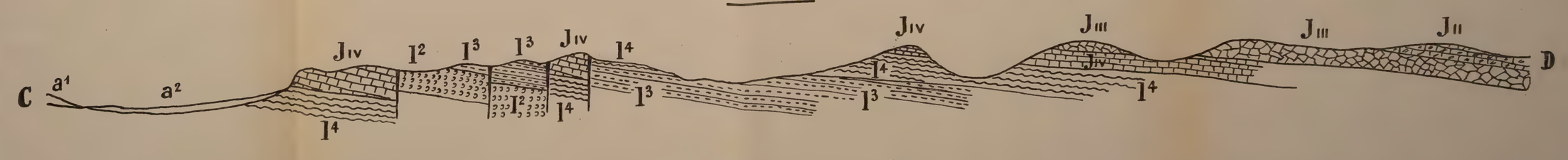
Coupe géologique d'un des sondages de Crevney

- J^2 Oxfordien Marneux
- a^1 Alluvions anciennes
- a^2 Alluvions modernes
- a^{1-b} Alluvions des basses terrasses
- A Eboulis sur pentes
- Argiles à chailles
- m_{III-IV} Calcaires à silex
- m_{IV-e^3} Calcaires lacustres
- p^1 Minerai de fer
- J^1-J^{1-a} Callovien inf^r et Bathonien supérieur
- J^3 Corallien
- J^4 Calcaires à astartes
- J^5 Kimméridgien
- J^6 Portlandien
- Sources
- Puits servant à l'alimentation collective
- Failles

Coupe AB



Coupe CD



Ces hauteurs sont exagérées environ 10 fois par rapport aux longueurs ce qui accentue le pendage des couches.

GÉOLOGIE
DE LA RÉGION DE VESOUL

Toute la région qui nous intéresse se trouve comprise en majeure partie dans le Jurassique; le Trias la borde au Nord, et au Sud-Ouest nous arrivons à l'extrême pointe des dépôts tertiaires lacustres dont nous parlions plus haut.

A la vue de la carte géologique, nous sommes amenés à faire une première constatation : c'est la stratification très régulière des terrains.

Depuis les étages supérieurs du Trias, jusqu'au milieu du Jurassique, les diverses couches se suivent avec une régularité remarquable, fort voisine de la position sub-horizontale, mais avec tout de même un léger pendage en direction du Sud-Ouest, et à peine dérangées par de petits accidents locaux. Les différentes assises affleurent en bandes concentriques et chaque terrain est en retrait par rapport au précédent.

Une autre constatation aussi, c'est le peu de bouleversement géologique de la région; pas de plis synclinaux ou anticlinaux, seulement dans la partie Est, au Nord de Grattery, une région de failles étoilées avec décrochements

multiples; puis le début d'une autre grande faille, partant sensiblement du même point pour aboutir 35 kilomètres plus loin vers Gy; elle met en contact le Bajocien et le Kimméridgien.

Sans trop faire œuvre d'imagination, nous pouvons essayer de reconstituer l'histoire du sol quoique les événements de tous ordres se sont enchaînés de telle façon qu'il est bien difficile de faire entre eux un départ chronologique absolu.

On s'accorde pour admettre que vers la fin de l'ère primaire, à la suite du mouvement orogénique qui a donné naissance aux plis hercyniens, le territoire que nous considérons était une région continentale traversée de grandes arêtes montagneuses reliant les Vosges et le Morvan.

Au début de l'ère secondaire, ce continent, déjà très usé et même ramené à l'état de pénéplaine, s'était effondré et durant tout le reste de cette époque a été immergé sous les eaux. Il y restera en majeure partie jusqu'à l'aurore de l'ère tertiaire où tout ce qui constitue la haute vallée de la Saône et ses dépendances est amenée au-dessus des flots et subira plus tard le contre-coup du soulèvement du Jura.

Ce socle hercynien effondré formait une plate-forme sous-marine et constituait plutôt une aire d'ennoyage, sans acquérir jamais une grande profondeur où s'accumulèrent de grandes épaisseurs de couches à la façon des géosynclinaux. Les sédiments du Trias, du Jurassique et du Crétacé s'entassèrent suivant les régressions et les transgressions marines en formant des dépôts correspondant aux profondeurs des zones bathyales et néritiques.

Tous les faciès font conclure en effet à des mers peu profondes.

D'abord tout le Trias, surtout le supérieur, indique franchement une région lagunaire, puis dans les autres zones, ce sont des couches à bivalves, calcaires à entroques, oolithes bathoniennes, récifs corralligènes. Mais les alternances de niveaux gréseux, marneux ou calcaires indiquent de grosses variations dans les déplacements des lignes de rivages, dans les affaissements, les soulèvements et aussi les changements de climats.

On ne peut manquer aussi d'être frappé de l'importance qu'ont pris dans toute la région les phénomènes d'érosion et même de corrosion. Ce sont eux qui ont dégagé les différentes assises laissant en saillie les couches dures et déblayant les couches tendres. La côte bajocienne en particulier, qui environne Vesoul au Sud, commencement de la zone des plateaux entre la Saône et l'Ognon présente tous les détails ordinaires de cette sorte de relief : tranches raides des calcaires durs en haut surmontant des éboulis en pentes plus douces, et les marnes liasiques en bas, isolant des promontoires, de curieux rochers ruiniformes, comme le Sabot de Frotey, ou même des buttes témoin comme la Motte, ou Montaigu. Ces mêmes phénomènes creusent le plateau de cañons, de reculées, de grottes ou d'entonnoirs.

Il est à présumer que des étages entiers ont disparu emportés à la longue par l'érosion. Les chailles isolées ou enrobées, dans l'argile de décalcification qui, incontestablement appartiennent à l'Oxfordien supérieur, reposent grâce à leur contexture siliceuse résistante, directement ou sur le Bajocien, ou sur le Bathonien et restent un dernier vestige des étages disparus.

LES DIFFÉRENTS TERRAINS

Nous trouvons donc dans cette région centrée à Vesoul, toute la série des terrains depuis les étages supérieurs du Trias au Méso-Jurassique. La partie Nord de la carte serait comprise dans les différentes assises du Trias ou du Lias et celle du Sud les divers sédiments du Jurassique moyen.

Du Trias, le *Keuper* (t^{3-1}) est le seul représenté dans la carte, il succède au Muschelkalk et au Grès bigarré, qui le précèdent en venant des Vosges. Tout cet étage, comme d'ailleurs tout le Trias des Vosges, a le faciès classique lorrain et germanique. On l'appelle quelquefois terrain des marnes irisées, il a cent à cent vingt mètres d'épaisseur et forme des dômes élevés d'un relief plus ou moins allongé dont les flancs sont très ramifiés. On peut distinguer une division supérieure, ensemble de bandes d'argile de couleurs claires vives et variées comprenant vers la partie basse des bancs de dolomies blanches et compactes; elles renferment aussi des bancs de cargneules, sortes de rognons de chaux carbonatée presque toujours celluleux et dont les cavités sont tapissées de spath en petits cristaux.

Le *Keuper* moyen est peu développé et représente seulement par des assises gréseuses et dolomitiques. Les marnes irrisées inférieures occupent au contraire une hauteur qui atteint souvent 60 mètres; elles se composent d'argiles versicolores interstratifiées de couches de houille sulfureuse, de gypse et de sel gemme exploité à Gouhenans. En somme, dans cet étage, alternance de niveaux perméables et imperméables.

L'Infra-Lias (h-10 à 15 mètres) est composé par un

grès, le grès infra-liasique à « avicula contorta » ou *Rhétien,* grès fin, très quartzeux, jaune ou grisâtre, excellent filtre pour les eaux, séparé par de minces lits de marne, jaunâtre, souvent remplis de débris de poissons, c'est le « bonebed », bien connu des géologues.

Le *Lias inférieur, Hettangien Sinémurien* (l^{2}-15 à 25 mètres) est composé d'un calcaire tantôt compact et dur mais fissuré d'un grain bleuâtre, c'est le calcaire à « Gryphea arcuata », ou quelquefois il est marno compact et même tout à fait marneux. Le calcaire à gryphées est assez répandu et contient dans ses fissures une réserve aquifère alimentant des sources fort variables et très sujettes à contamination.

Le *Lias moyen ou Charmouthien* (l^{3}-20 à 25 mètres) a des assises exclusivement marneuses, surtout des marnes noires schisteuses, appelées mortes dans le pays (marnes à Belemnites).

Le *Lias supérieur ou Toarcien* (l^{4}-100 à 110 mètres) qui se confond dans la région avec l'Aalénien comprend trois assises caractéristiques. D'abord en bas les schistes à Posidonomyes dits schistes bitumineux dont on a essayé de retirer de l'huile lourde à Creveney. Ils offrent dans leur partie supérieure des masses arrondies assez volumineuses — les septaria — très répandues dans la région de Vesoul-Saulx. Au-dessus viennent plusieurs petites couches de marnes ou de schistes bleus très micacés — les schistes carton — recouverts enfin par des marnes bleuâtres endurcies, ou des calcaires sableux à Oolithes ferrugineuses.

Au point de vue hydrogéologique, les divers étages du

Lias sont très peu perméables. Ce sont des marnes épaisses et schisteuses qui s'étalent dans la plaine ou se haussent en un talus que couronne la falaise bajocienne, tout au plus trouve-t-on un peu d'eau dans les bancs intermédiaires du calcaire dolomitique, du calcaire à gryphées, du grès infraliasique et des différents schistes.

MESO-JURASSIQUE : Le Jurassique moyen présente dans toute la région et plus encore si l'on s'avance du côté du Jura, un développement très complet qui, de tout temps, a suscité l'intérêt des géologues. Ici nous sommes dans des formations en majeure partie zoogènes.

Il débute par le *Bajocien* (J. IV) de 80 à 100 mètres d'épaisseur presque entièrement calcaire sauf à la base où il y a des intercalations marneuses, mais dans la région de Vesoul, le passage du Toarcien au Bajocien est assez net. Dans cette même région on reconnaît trois faciès différents :

D'abord l'*Oolithe ferrugineuse* qui recouvre les marnes toarciennes doit son nom au banc de minerai de fer qu'il renferme exploité pendant longtemps. C'est un calcaire rouge, brun violacé, empâtant de très nombreuses oolithes miliaires ferrugineuses (zone à pecten pumilus). Il supporte le *calcaire à entroques* qui provient d'un entassement d'articles de la tige et des bras ainsi que des pièces du calice des Crinoïdes fixés au fond des mers où ils formaient de véritables forêts. Il passe par en haut au *calcaire à polypiers,* assise qui se distingue assez nettement de la précédente.

Le calcaire oolithique compact sauf à sa base, stratifié en bancs épais, mais très fissuré, fournit une très bonne

pierre de taille bien employée dans la contrée. En somme tout le Bajocien de la région, sauf certaines petites intercalations marneuses peu importantes, est calcaire, et ses calcaires sont perméables seulement par fissuration.

Le *Bathonien inférieur* (J. III) appelé aussi Vésulien, ou Terre à foulon, le « Fullers earth » des Anglais, assez développé dans la région vésulienne, d'où, d'ailleurs, il tire son nom, recouvre le sommet des collines au Sud-Est de Vesoul. Il est calcaréo-marneux et d'une épaisseur variable de quelques mètres à 20 ou 30; il constitue parfois un niveau hydrogéologique.

Le *Bathonien moyen* (J II) Grande oolithe on Forest marble, se divise en couches épaisses d'un calcaire blanc très fissuré. C'est dans le Jura la zone des grands gouffres et des galeries souterraines. Sa puissance est ici d'environ 80 mètres.

Le *Bathonien supérieur* (J I) termine l'étage. Calcaire en plaquettes, d'épaisseur très variable, il se débite en dalles (la dalle nacrée) renfermant de grandes huîtres à reflets nacrés. Le Cornbrash est constitué par des calcaires oolithiques spathiques bruns, jaunes ou grisâtres, souvent bleus à l'intérieur.

SUPRA-JURASSIQUE : Les divers étages du Supra-Jurassique sont peu représentés dans la région qui nous intéresse. Ils s'étendent surtout dans la région de Gray.

Le passage du Bathonien au *Callovien* (J^1) se fait insensiblement et l'épaisseur de ce dernier est à peu près négligeable.

L'*Oxfordien* (J^2) très développé dans les régions du Doubs et du Jura puisqu'il atteint 100 mètres, mais peu

dans celle qui nous intéresse, comprend des marnes imperméables qui constituent un niveau aquifère des plus intéressant.

Les *Argiles à chailles* (Ach) recouvrent très souvent le sommet des plateaux, et proviennent de la décalcification de l'Oxfordien supérieur et du Rauracien inférieur. Ce sont des argiles rouges ou jaunâtres renfermant des rognons siliceux à l'intérieur dont la grosseur varie depuis celle du poing jusqu'à celle de la tête. (1)

Le *Corallien, l'Astartien, le Kimmeridgien et le Portlandien* qui terminent le Jurassique sont très peu représentés dans la région vésulienne.

Le *Calcaire Lacustre ou calcaire à Lymnea longiscata* (Eocène supérieur et Oligocène, m IV e 3), n'affleure que dans la partie Sud-Ouest de la carte.

Les *Alluvions modernes* (A^2) qui occupent le fond de la vallée de la Saône, de l'Ognon et de leurs affluents, recouvrent souvent, sur une épaisseur intéressante, les divers étages que nous venons de décrire. Ce sont des accumulations de matériaux divers apportés par les cours d'eau depuis le commencement de l'époque géologique actuelle. Ces matériaux consistent en limon, sable et cailloux roulés provenant des roches situées dans les vallées qu'arrosent ces cours d'eau. Leur épaisseur n'excède pas 10 m. Les alluvions des vallées de la Saône et de l'Ognon ont une

(1) Les chailles sont très fossilifères et renferment en particulier de magnifiques crustacés dont M. P. Petitclerc notre savant et vénéré compatriote, possédait une collection unique. Cette collection vient d'être cédée par son auteur au Laboratoire de géologie de la Sorbonne.

très forte proportion d'éléments siliceux avec dépôt de grès sableux à grain plus ou moins dur et de calcaires provenant de l'érosion des collines avoisinantes. Dans les vallées affluentes et dans celle du Durgeon en particulier, les éléments calcaires sont seuls prédominants. Les alluvions modernes qui recouvrent souvent des terrains imperméables renferment des nappes d'eau très intéressantes.

Les *éboulis sur pentes* (A) restent assez importants au pied des falaises bajociennes des environs de Vesoul; ils s'étendent parfois assez loin sur les marnes toarciennes.

On trouve également beaucoup, surtout dans la région d'Echenoz, des *tufs* (A^t), dépôts de carbonate de chaux poreux et léger formés par les résurgences elles-mêmes. Ils renferment des végétaux et des mollusques actuels.

Les alluvions anciennes et fluvio-glaciaires ne sont pas représentées.

RESSOURCES HYDROLOGIQUES DE LA RÉGION DE VESOUL

Ces données géologiques sont indispensables pour dresser un inventaire précis des ressources hydrauliques, pour connaître l'importance des réseaux et des nappes ainsi que leur oscillation.

Elles vont nous permettre de mieux comprendre l'allure générale des sources et des nappes d'eau, leur débit éventuel, leur composition probable et surtout leur valeur hygiénique.

On peut dire que la région de Vesoul, comme toute la Franche-Comté, possède un domaine hydraulique varié et riche.

D'abord la hauteur moyenne des précipitations atteint et dépasse souvent plus d'un mètre par an; un bassin alimentaire de superficie modeste sera suffisant pour assurer à une source un débit intéressant. De plus, la variété des formations géologiques et la diversité des faciès amènent de nombreuses alternances de terrains perméables et imperméables qui, grâce à la configuration tectonique en retrait et assez accidentée topographiquement, viennent affleurer à des niveaux différents. Comme en outre les sur-

faces boisées, surtout sur le sommet des plateaux, sont assez considérables, elles assurent aux émergences une excellente zone de protection.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES ÉMERGENCES ET LES NAPPES AQUIFÈRES DE LA RÉGION

Il ne peut être question ici de donner de longs détails sur ce qu'on appelle le cycle de l'eau : l'évaporation, la précipitation, le ruissellement ou l'infiltration à la surface ou à l'intérieur de la terre; ce serait prolonger bien loin les considérations générales.

Mais il est tout de même nécessaire de redire les classifications adoptées généralement à la suite des travaux de Daubrée, Imbeaux, Martel et Fournier pour les émergences et les nappes aquifères.

Les émergences naturelles d'eau se produisent le plus souvent à la limite, entre des couches perméables et des couches imperméables. Les formations perméables sont de deux sortes : les unes à perméabilité homogène qui s'imprègnent d'eau par capillarité uniformément comme un morceau de sucre ou une éponge, tels sont les sables, les graviers, les alluvions, les grès, certaines argiles sableuses; les autres ne sont perméables que par fissuration, tels sont les calcaires, et certains calcaires plus ou moins marneux, les grès trop compacts, les roches éruptives ou magmatiques très fissurées.

On comprend de suite, après cette définition, que les

eaux qui s'infiltrent dans les couches à perméabilité homogène les traversent très lentement, s'y emmagasinent, et les phénomènes d'adsorption entrant en jeu, subissent une filtration très efficace et d'autant meilleure que les éléments filtrants seront plus fins.

Dans les couches perméables par fissuration, il ne se produit aucune filtration efficace. La pénétration des eaux dans ces terrains se fait en descente, à travers les cassures, les joints, les diaclases, jusqu'à rencontre d'un niveau de base ou du contact de formation imperméable; elles cherchent alors à s'écouler suivant la disposition des accidents géologiques.

La circulation de l'eau dans ces formations est très irrégulière. Sous l'influence de l'érosion ou action mécanique et de la corrosion ou action chimique, l'eau élargit les fissures, agrandit les diaclases qui servent de collecteur et, ainsi s'ébauche un réseau qui réunit de véritables ruisseaux souterrains. Les travaux de Martel ont prouvé que les nappes d'eau n'existaient pas dans les calcaires. L'écoulement se fait donc dans de véritables ruisseaux souterrains, très irréguliers d'allure en passant par une série d'étranglements, de siphons et quelquefois aussi de salles très vastes et très élevées.

Dans les eaux basses, l'écoulement s'établit comme en conduite libre. Dans les grandes eaux au contraire, tout l'ensemble fonctionne comme dans une conduite fermée sous pression.

L'eau entraîne tous les produits de décantation accumulés dans les réserves et les étranglements, les déverse brusquement et c'est ce qui explique en partie le trouble et la

crue microbienne correspondante. On entrevoit tout de suite les conséquences hygiéniques de tels phénomènes.

Les hydrologues qui se sont occupés de la région, et en particulier le professeur Fournier et ses élèves, réservent, en partant de ces données, les définitions suivantes pour les émergences et les nappes aquifères.

Les *sources vraies* seront des émergences issues de formations à perméabilité homogène comme les sables, les graviers, les grès. Leur débit variera à peine et la filtration étant très efficace avec des précautions faciles à réaliser, elles seront bonnes en général.

Dans les *exsurgences,* les eaux proviennent de formations perméables par fissuration, elles sont absorbées directement par le sol sans parcours superficiel.

Dans les *résurgences* au contraire, l'eau a longtemps circulé à la surface du sol; les filets d'eau plus ou moins importants et même les rivières ont été littéralement absorbées dans un moment de leur parcours et viennent réapparaître souvent très au loin.

Au point de vue hydrologique, cette différence est capitale et entraîne de grosses conséquences. Si, en effet, les eaux des résurgences, comme l'ont cent fois confirmé les analyses chimiques et surtout bactériologiques, sont presque toujours très suspectes, et même douteuses, de façon temporaire ou permanente, celles des exsurgences seront bonnes, sous bénéfice d'inventaire, si le bassin alimentaire est boisé, inculte ou inhabité, et si le périmètre de protection est assuré.

Si donc l'on vient à faire dans la région l'étude d'une source issue d'un terrain calcaire — et ces sources sont

nombreuses — l'enquête géologique et l'étude du périmètre d'alimentation prendra une importance capitale. Il faudra bien s'assurer s'il s'agit d'une exsurgence ou d'une résurgence et si des causes de contamination peuvent survenir dans la suite.

On ne saurait perdre de vue également que tous les plateaux calcaires qui constituent la bonne moitié du sous-sol de notre région forment plutôt un crible qu'un filtre, et que très fissurés, s'ils retiennent très mal les eaux, les filtrent encore plus mal. Toutes les fissures, si étroites et si nombreuses soient-elles, laissent tout de même passer librement les débris minéraux et organiques et à plus forte raison les micro-organismes.

Le débit sera forcément aussi très variable et en période d'étiage, il arrive presque à rien.

Nous allons citer des exemples assez typiques et en définitive ce n'est pas là que les agglomérations trouveront les ressources nécessaires en eau au moment où précisément les besoins sont les plus impérieux.

Pour dresser notre inventaire des ressources aquifères de la région de Vesoul, les natures de terrains étant profondément différentes nous étudierons séparément :

1° LES EMERGENCES DU TRIAS ET DU LIAS;

2° CELLES DES DIFFERENTS NIVEAUX DE L'OOLITHE INFERIEURE;

3° LES NAPPES DES ALLUVIONS.

RESSOURCES AQUIFÈRES DU TRIAS ET DU LIAS

Dans ces terrains qui occupent un grand développement au Nord-Est de la région de Vesoul, les ressources aquifères sont déterminées :

1° Pour les *sources vraies,* c'est-à-dire celles qui proviennent de formations à perméabilité homogène, par les grès de l'Infra-Lias au contact des marnes irisées, mais elles sont peu importantes comme débit parce que l'épaisseur de ce grès est faible et que les affleurements sont souvent recouverts; il est à noter toutefois qu'elles sont intéressantes parce que généralement bonnes.

Des sources de ce genre, nous pouvons citer :

à *Saulx de Vesoul, les sources du bois de Genevrey,* très bonnes et bien protégées par des bois;

à Servigney, la source de Bellevue : bonne;

à Mailleroncourt-Charette, la source des Maronniers est bonne également;

à Pusey on trouve aussi une nappe dans l'Intra-Lias, mais les analyses sont très rudimentaires et ne permettent pas de conclure définitivement;

à *Villeparois, la fontaine de la Réserve* dans les bois des Charrues : très bonne;

au Val-Saint-Eloi, la source des Trois Fontaines a donné de bons résultats à l'analyse bactériologique, mais de mauvais à l'examen chimique (trop de sulfates).

2° Pour les *exsurgences et les résurgences,* les niveaux aquifères dans le Trias et le Lias sont déterminées en général par le contact des marnes irisées gypsifères avec les dolomies et les cargneules du Keuper ou par celui du niveau marno-gréseux de l'Hettangien avec les calcaires à gryphées.

Mais les exsurgences du Keuper, comme on peut s'en douter, sont très chargées en sulfate de chaux et en sulfate de magnésie, de plus, ces formations étant très fissurées, les eaux sont souvent suspectes et difficiles à protéger.

Les exsurgences du calcaire à gryphées ne sont pas en général de débit important, car ce calcaire est intercalé entre deux formations marneuses imperméables; il affleure rarement en bancs épais de grande surface.

Dans cet ordre d'idées, nous avons reconnu dans la région de Vesoul :

au Val-Saint-Eloi, la source des Couverts qui est une exsurgence du Keuper décolcifié : assez bonne à l'analyse bactériologique mais médiocre chimiquement;

A Equevilley, la fontaine du Tillon et la source du bois du Praly, médiocre à l'examen bactériologique et mauvaise au chimique;

à Vellefrie, l'exsurgence dans le calcaire à Gryphées de *la source de la Queue du Chaudot* est assez bonne;

à la Villeneuve, plusieurs petites exsurgences dans le Lias moyen semblent bien protégées, mais les analyses ne sont pas concluantes;

à Flagy, au nord du village, une source très gravement contaminée par des eaux usées;

à La Creuse, plusieurs petites sources dans le calcaire liasique sont utilisées pour l'alimentation de la commune;

la source de Vaugérard signalée par Thirria est une importante résurgence vauclusienne sortant d'un entonnoir de 13 mètres de profondeur creusé dans le calcaire à gryphées;

dans le village de *Creveney,* on a signalé une source très contaminée qui prend naissance dans les schistes à Posidonomyes du Lias supérieur, de plus elle est sulfureuse et contient des traces d'hydrocarbure.

Dans le Trias et le Lias, on trouve assez souvent ce qu'on appelle des *sources de ruissellement.* Ces sources prennent naissance dans les combes formées de marnes imperméables du Trias supérieur et du Lias, surtout lorsque les formations sont recouvertes de produits de décalcification et d'alluvions modernes. Mais pour que ces eaux soient bonnes et de débit suffisant il est essentiel que le bassin alimentaire soit entièrement boisé et qu'il ne contienne ni cultures, ni pâturages, ni habitations.

Au Nord-Est de Vesoul, du côté de Flagy et du Val-Saint-Eloi, il existe tout un ensemble de sources de ce genre dont on avait envisagé l'amenée à la ville. Ce sont

sources de la Gueuse, de la Bannie et toutes celles qui sourdent dans *le vallon entre Flagy et le Val-Saint-Eloi.*

Les sources de la Gueuse prennent naissance sur le Keuper, c'est une série de petits ruissellements dont la réunion et le débit s'accroissant progressivement vers l'aval finit par constituer la source principale assez importante puisqu'en période d'étiage, elle donne encore 10 litres à la seconde. Mais bien que le terrain soit en partie boisé, tous ces suintements sortent de sources très gypseuses et s'engagent dans des fonds de vallée garnies d'argiles sableuses sur lesquelles croit une végétation de marais plus ou moins tourbeux. Ces eaux restent donc très chargées en sulfate de chaux et en matières organiques et leur captage et leur protection très difficiles à réaliser.

Les sources de la Bannie ne sont pas dans des conditions meilleures. Issues du Lias supérieur, elles résultent de la réunion d'une vingtaine de petites sources qu'il faudrait, le cas échéant, capter individuellement — ce qui est très coûteux.

Au surplus, l'achat de tous les terrains constituant le bassin d'alimentation pour un reboisement ou une protection efficace, nécessiterait encore une dépense hors de proportion avec le résultat à atteindre, le débit ne dépassant pas en étiage deux litres à la seconde.

Sources entre Le Val-Saint-Eloi et Flagy. — Sur la rive gauche de la Gueuse, on voit jaillir dans les cargneules du Keuper supérieur trois sources voisines l'une de l'autre.

La première prend naissance dans un pré au bord du ruisseau; c'est la *source du Val* (40 litres à la minute).

La deuxième au flanc du coteau près d'un ruisseau, et la troisième qui est la plus abondante : *la source Bruand* (150 litres à la minute). Ces sources peuvent, en les suivant en tranchées, être captées à un niveau plus élevé jusque près de la lisière du bois. Elles sont dans de très bonnes conditions tant au point de vue géologique qu'au point de vue de leur bassin alimentaire et elles seraient encore de bien meilleure qualité avec un bon captage.

Un peu plus à l'aval, et sur la rive droite, immédiatement au-dessus de la route, se trouve une belle source dite des *Trois Fontaines* (18 litres à la minute). Source vraie de l'Infra-Lias, son bassin alimentaire est entièrement boisé et il suffirait d'en effectuer le captage de l'autre côté de la route pour la placer dans des conditions hygiéniques absolument parfaites.

La réunion des sources des Trois Fontaines, de la source Bruand et des deux petites sources voisines de cette dernière est susceptible de fournir un débit de 6 à 7 litres à la seconde, soit de 400 litres à la minute, d'eau de qualité assez bonne et ce débit serait certainement augmenté par de bons captages.

La dénivellation avec le réservoir de la ville est de 8 mètres. La distance est de 12 km. 500, soit par mètre de 0 m. 00064 nécessitant des tuyaux de fort diamètre; de ce côté, il se présente donc des difficultés assez sérieuses.

Voici les analyses bactériologiques qui ont été faites de *la ource des Trois Fontaines, sous Varogne* par le Laboratoire Bactériologique de Besançon.

Analyse bactériologique de la Source des Trois Fontaines

Prélèvement du 2 avril 1921

Analyse quantitative : la numération des colonies sur gélatine donne 200 germes au centimètre cube.

Analyse qualitative : la recherche des espèces du groupe coli a montré l'absence de ces espèces sur 1, 10 et 100 centimètres cubes d'eau.

Pas d'espèces putrides. Rares espèces liquéfiantes, Bactéries banales (b. subtilis), pas d'espèces suspectes, colorées.

En résumé: eau très bonne, au point de vue bactériologique.

Analyse bactériologique de la source Bruand

Prélèvement du 2 avril 1921

Analyse quantitative : la numération des colonies sur gélatine donne 280 germes au centimètre cube.

Analyse qualitative : la recherche des bactéries pathogènes du groupe coli a montré l'absence de ces espèces dans 1, 10, 100 cm^3 d'eau.

Absence d'espèces putrides. Très rares espèces liquéfiantes. Pas d'espèces colorées suspectes.

En résumé : eau très bonne au point de vue bactériologique.

Analyse chimique des Sources des 3 Fontaines et Bruand

	Source Bruand	Source des 3 Fontaines
Résidu à 100	0,520	0,922
Perte au rouge	0,032	0,064
Acide sulfurique (en SO^3)	0,085	0,522
Chlore (en NaCl)	0,006	0,005
Acide carbonique des carbonates	0,149	0,085
Carbonate de chaux	0,260	0,190
Carbonate de magnésie	0,066	traces
Chaux totale	0,158	0,399
Magnésie totale	0,054	traces
Sulfates		
Oxygène au $Mn.O^4K$ acide	0,8	1
— — alcalin	1	1
Nitrates	traces	traces faibles
Nitrites	néant	néant
Ammoniaque	traces	traces
Degré hydrotimétrique total	41°	82°

Conclusions : 1° Sources des 3 Fontaines : eau beaucoup trop riche en sels minéraux, surtout en acide sulfurique et en chaux totale. C'est une eau sulfatée, impropre à la consommation ainsi qu'aux usages domestiques et industriels.

2° L'eau du Val-Saint-Eloi (source Bruand) est une eau rendue suspecte par la grande proportion de son résidu à 110°, de sa teneur en acide sulfurique et en chaux totale. A défaut d'autre, elle peut être utilisée pour l'alimentation.

SOURCES DE L'OOLITHE INFÉRIEURE

Avec le Bajocien, nous rencontrons le premier grand niveau aquifère très important dans la région ; il est déterminé par le contact des couches inférieures du calcaire avec les formations imperméables du Toarcien.

Entre le Bathonien moyen, en général dans la région de contexture calcaréo compact, et les couches plus ou moins marneuses du Bathonien inférieur, on trouve aussi des points d'eau, mais assez rares, et de débit peu important. Tout ce que nous avons dit de la circulation de l'eau dans les calcaires, de la différence entre les exsurgences et les résurgences de l'étude du bassin alimentaire ne doit pas être perdu de vue un seul instant au moment de l'enquête hydrogéologique de ces niveaux qui revêt ici une importance primordiale.

Les points d'eau qui se font jour, soit par une cassure des roches bajociennes débouchant souvent dans le fond des vallées, soit à flanc de coteau et au contact des marnes toarciennes sont innombrables dans la région qui entoure Vesoul et il est presque impossible de les citer tous.

La plus grande partie des communes qui sont situées dans la plaine ou accrochées sur les pentes utilisent ces sources pour leur alimentation.

Parmi les plus typiques et les plus importantes, nous pouvons citer :

à Borey, la source de la Vevet et celle au nord du village, exsurgences toutes deux du Bajocien, donnent des eaux douteuses, le bassin alimentaire étant mal protégé;

à Coulevon, la source, sur le flanc nord de la côte 350, est assez bonne, mais une petite émergence, gravement contaminée par des eaux résiduaires, utilisée dans le village, a causé pendant la guerre une épidémie typhique assez sévère;

à Comberjon, plusieurs exsurgences du Bajocien alimentent les fontaines du village et donnent une eau très bonne;

à Chariez, le ruisseau du *moulin* Baudon, qui prend sa source dans le Bajocien, alimente ce village en partie;

à Frotey, la source Goux et la source Blanche, mal protégée sont contaminées, mais la *source du Château* est bonne;

au Magnoray, la source de la fontaine Rouge, de débit important, n'a pas été analysée;

à Navenne, la source du Touvot, exsurgence du Bajocien, assez bonne;

à Montigny, les sources près de Chariez et *les sources de Beaulieu* sortent des éboulis du Bajocien et ont donné des eaux potables à l'analyse;

à Neurey, la source du Moireau vient de faire l'objet d'un captage récent pour alimenter l'hospice et le village. Le périmètre de protection devra être surveillé;

à Quincey, la source du Bas, exsurgence bajocienne non analysée;

à Vaivre, la source du Guillemot et source du Béguinet sortent des éboulis et devraient, pour une bonne utilisation, être captées dans leur niveau géologique.

Vesoul a employé depuis longtemps les sources de la *Fontaine Ferme à Navenne,* exsurgence aussi du Bajocien avec pasage sur éboulis et tufs, et de *la Fontaine au Diable à Echenoz,* qui est un type de belle exsurgence. Nous y reviendrons plus en détail.

La Fontaine Loquinaire, un peu plus à gauche, dans le même fond de vallée que la Fontaine au Diable, avait été un moment utilisée et ses eaux réunies aux conduites d'amenée de cette fontaine à Vesoul. Mais gravement contaminée par les fermes de la Providence, il est préférable de ne pas l'utiliser.

Voici d'ailleurs une analyse bactériologique récente que nous avons fait dans des conditions optima.

SOURCE LOQUINAIRE
Prélèvement du 17 juin 1936

Beau temps, peu ou pas de pluie les jours précédents.
eau limpide — T° eau = 11° — T° extérieure = 17°.

Numération des germes par cm³ :

120 colones dont plusieurs liquéfiantes (B. subtilis. Micrococcus Candicans). Pas d'espèces chromogènes.
5 moisissures (Mucor Mucedo).

Recherche du Coli Bacille : 50 coli par litre.
Recherche de la contamination totale : positive sur 50 cm³.

Conclusion : Même en période d'étiage, alors qu'il n'y a pas apport d'eaux superficielles, cette source est suspecte.

La belle source de la *grotte de Solborde,* assez intéressante, aurait pu faire l'objet d'un captage pour Vesoul,

mais malheureusement son débit irrégulier en période de sécheresse arrive presque à rien. Ses eaux ont formé de belles cascades de tuf dans les fissures desquelles elles se perdent pour aller ressortir à la source *d'Aigneley* et celle qui alimente Echenoz.

Le ruisseau qui vient du fond de *la vallée du Vernois* est une importante exsurgence dans le Bajocien. Deux belles résurgences, dans les environs déjà lointains de Vesoul, deviennent de grands ruisseaux : *la Baignotte et la Romaine.*

La Baignotte est aussi une importante résurgence sortant en un point du parcours de la longue faille qui s'étend de Grattery à Gy, où le Bajocien se trouve en contact avec le Jurassique supérieur.

La Romaine, affluent de la rive gauche de la Saône, prend sa source à Fondremand, dans le Bajocien. Mais cette résurgence est très gravement contaminée par les eaux résiduaires du village et par des puits absorbants, comme le puits de Rougeterre ; quoiqu'une exploration récente du Spéléo-Club régional n'a pas permis de conclure à une inter-communication très certaine.

ETUDE SUR LA FONT DE CHAMPDAMOY

Plus à proximité de Vesoul, une résurgence très importante, dont à plusieurs reprises il avait été question d'amener les eaux pour l'alimentation de la ville, est la *Font de Champdamoy*, au Nord-Est de Vesoul, entre Quincey et Villers-le-Sec.

La Font de Champdamoy procède à peu près sûrement,

avec *la grotte de Quincey* et *le Frais-Puits*, du même réseau souterrain. La première étant une résurgence siphonée, tandis que le dernier, un simple regard jouant le rôle de trop-plein; il y a corrélation étroite dans les variations de débit de l'un par rapport à l'autre.

La grotte de Quincey et le puits de Chevreroches ne sont tout simplement que d'anciennes résurgences sèches du même réseau.

Le Frais Puits est un curieux entonnoir — ici nous citons les propres termes de Thirria :

« De dix à douze mètres de profondeur et de vingt à « vingt-cinq mètres de diamètre. En été et en automne, « après deux ou trois jours de pluies abondantes, le trou « du Frais Puits vomit tout à coup une eau bouillonnante « qui se répand avec impétuosité dans le vallon et l'inonde « complètement en quelques heures ainsi que la plaine de « Vesoul, sur une étendue de dix kilomètres. Le torrent « est alors si violent qu'il entraîne tout ce qui se trouve « sur son passage et qu'après avoir fait déborder la « rivière, il envahit les parties basses de la ville et va « se jeter dans la Saône qu'il fait sortir de ses bords. Ces « épanchements, qui durent plusieurs heures, cessent peu « de temps après la pluie. »

Ces variations aussi soudaines de débit s'expliquent très facilement par ce que nous savons de la circulation de l'eau dans les calcaires, par séries d'étranglements à niveaux différents, avec salles plus ou moins vastes, et l'étendue du bassin fait voir de suite l'importance de ce même débit. Le bassin alimentaire très vaste comprend en effet les plateaux de La Demie, Neurey, les Belles-Bara-

ques. Villers-le-Sec, Vallerois-le-Bois, Cerre-les-Noroy, Noroy-le-Bourg et Borey.

L'hypothèse de perte de l'Ognon et de communication est sans fondement. L'interposition des marnes oxfordiennes imperméables exclut toute idée d'infiltration. Jamais aussi il n'a été rencontré dans les alluvions du Frais Puits de galets siliceux d'origine vosgienne qui abondent dans le lit de cette rivière.

Ce qu'il y a de certain, c'est que dans ce vaste plateau les points d'absorption sont très nombreux. Les entonnoirs qui, près de La Demie, absorbent les eaux de la Fontaine de Vaudemange, et, au sud de Cerre-les-Noroy, les entonnoirs qui absorbent le ruisseau venant des deux sources, à l'est de la côte 320, entre Noroy-le-Bourg et Autrey-les-Cerre et le ruisseau de Presle qui prend sa source entre Cerre et Noroy, sont en communication avec le réseau Frais Puits, Champdamoy.

La font de Champdamoy, un peu en aval et en contrebas, se trouve à l'extrémité de la vallée sèche, du minuscule cañon qui termine la vallée de Frais Puits. C'est une résurgence permanente du même réseau.

L'ébauche d'hydrographie que nous venons de faire de ces deux points d'eau nous fera vite comprendre combien ils peuvent être facilement contaminés.

Les nombreuses analyses des eaux de Champdamoy exécutées à différentes époques sont assez contradictoires.

La première a été faite en 1893 au Val-de-Grâce après une assez longue période de sécheresse, et conclut à la présence d'aucune bactérie de provenance suspecte. Mais

le Docteur Rouget, avec juste raison, fait toute réserve pour la période de crue qui peut amener des souillures.

La deuxième analyse par l'Ecole des Mines date aussi de juillet 1893. L'analyse reconnaît l'eau mauvaise parce qu'elle renferme 7 milligrammes de matières organiques sans autres explications plus détaillées.

La troisième analyse, à la fin d'août de la même année, par la Société d'Agriculture de France, déclare l'eau bonne et mauvaise à la fois. Bonne au point de vue des matières organiques dont elle ne renferme que des traces, mais mauvaise parce qu'elle renferme trop de sels calcaires. Sa dûreté serait de 52 degrés, chiffre assez invraisemblable.

En 1896, trois nouvelles analyses chimiques furent effectuées et une, en outre, après les pluies d'automne de 1897. Toutes quatre concluent que l'eau est de bonne qualité et convient pour l'alimentation.

On décide alors, pour plus de sûreté, de faire descendre un scaphandrier dans le gouffre qui explorera et recherchera la partie exacte d'où l'eau émerge et prélèvera un échantillon à ce point.

A l'analyse, l'eau fut reconnue de mauvaise qualité, impropre à la consommation, souillée par des infiltrations superficielles et renfermant des bactéries putrides et d'assez nombreux coli-bacilles.

Une nouvelle analyse, faite en 1905, donne comme résultat: eau de mauvaise qualité, souillée par infiltration d'eau contaminée.

En mars 1905, une analyse très complète de l'Institut de Nancy reconnaît l'eau d'excellente qualité. Son degré hydrotimétrique serait de 20° environ.

Voilà bien des contradictions, mais ce qu'il y a de certain, c'est qu'ici l'enquête géologique prime de beaucoup toutes les analyses chimiques et bactériologiques. Nous sommes, il ne faut pas l'oublier, en plein régime de résurgence, et suivant le moment du prélèvement, on obtiendra des résultats bons ou mauvais.

La ville de Vesoul, voulant améliorer la distribution dans le cours de l'été 1934, avait prié M. Dreyfuss, géologue à la Faculté de Besançon, de faire une enquête serrée sur les eaux de Champdamoy. Ses conclusions restent très nettes. Les causes de contamination étant très nombreuses, l'eau de Champdamoy ne peut être livrée à la consommation que filtrée et stérilisée. Si l'on ajoute que le débit est à peine suffisant en période d'étiage pour parfaire au complément d'eau nécessaire, que cette eau d'un captage difficile doit être refoulée et élevée (le réservoir de la ville se trouve à 24 mètres plus haut) on aura assez dit pour faire abandonner le projet d'amenée des eaux de Champdamoy à Vesoul.

Nous avons tenu néanmoins à faire quelques analyses de ces eaux pour confirmer notre opinion.

Analyse bactériologique

Prélèvement du 16 octobre 1935

fait dix jours après une crue abondante, mais la source est revenue à un régime normal. Ce prélèvement a été effectué au déversoir de la Font.

Eau à peine louche, temps couvert. T° eau=11°, t° ext.=10°

Numération des germes sur gélatine par cm³ :

Nombre de colonies	660
— de liquéfiants	25
— de moisissures	10

Recherche du coli bacille..... 150 par litre

Recherche de la contamination totale : sur 10 cm³. positive

— sur 20 cm³, positive

— sur 50c m³, positive

Analyse bactériologique

Prélèvement du 7 octobre 1936

Le régime de la Font est normal, eau limpide.

t° eau = 11°, t ext = 7°

Numération des germes par cm³ :

Espèces liquéfiantes chromogènes	absence
Espèces liquéfiantes non chromogènes	20
Espèces non liquéfiantes chromogènes	5
Espèces non liquéfiantes non chromog.	50

Recherche du coli bacille..... 180 par litre

Recherche de la contamination totale : sur 10 cm³, négative

— sur 20 cm³, positive

— sur 50 cm³, positive

Analyse chimique (1)

Prélèvement du 7 octobre 1936

Odeur	nulle
Saveur	nulle
Limpidité	eau limpide
Dépôt	Très faible dépôt de matières végétales
Degré hydrotimétrique total	28°5
— permanent	10°
Oxygène dissous	8.2
Acide carbonique total	74
— libre et semi-combiné	70
— combiné	4
Azote ammoniacal	absence
— nitreux	absence
— nitrique	absence
Matières organiques : acide	0.4
— alcalin	0.3
Résidu fixe à 110°	293
Perte au rouge	3
Alcalinité totale	148
Chlore en NaCl	6
Acide sulfurique en SO^3	16
Acide phosphorique	absence
Silice en SiO^2	5
Fer et alumine en $Al^2O^3 + Fe^2O^3$	3
Chaux en CaO	240
Magnésie en MgO	16

Conclusions : Malgré une bonne minéralisation et aucun indice de contamination chimique, les analyses bactériologiques font craindre une pollution probablement permanente de la source de Champdamoy.

(1) Résultats en milligrammes.

SOURCES DU BATHONIEN

Entre le *Bathonien moyen et le Bathonien inférieur,* qui est calcaréo-marneux, on signale quelques petits niveaux aquifères. Mais dans la région, le Bathonien inférieure (faciès Vésulien) recouvre en général, le sommet des plateaux et le bassin alimentaire des sources est très peu important.

Dans le *Bathonien supérieur,* les niveaux marneux sont peu épais, peu constants et les exsurgences sont assez rares et d'un faible débit.

On signale *à Borey, la source de la Combe-Brenotte* qui sort du Bathonien inférieur, non analysée.

A Filain, la source du village, résurgence des entonnoirs de Vellefaux, très suspecte.

A Quincey, la source de Novillard, exsurgence du Bathonien, assez bonne.

Dans les autres étages du Jurassique, on trouve des niveaux d'émergence très importants à la limite entre le Rauracien et les marnes de l'Oxfordien, entre le Séquanien supérieur calcaire et le Séquanien inférieur calcaréo-marneux entre les bancs calcaires et les bancs

marneux du Kimméridgien. Mais dans les environs de Vesoul, on ne signale pas de source à ces différents niveaux.

Dans *les chailles et les argiles à chaille* qui proviennent de l'Oxfordien, des sources vraies peuvent se constituer dans leurs produits d'altération; la couche imperméable est alors constituée soit par les marnes Oxfordiennes, soit par les argiles de décalcification.

Quoiqu'en général bonnes, ces sources sont peu importantes dans la région. Nous pourrions citer seulement : *la source de la Côte, de la Grange Lambert, de l'Etang Gaudet et du Petit Bois.* Elles sont toutes sur le territoire *de Vallerois-le-Bois* et sont très bonnes.

NIVEAU AQUIFÈRE DES ALLUVIONS MODERNES

Les alluvions modernes qui, avons-nous dit, occupent dans la région le fond des vallées de la Saône et de ses affluents, et plus spécialement du Durgeon et de ses tributaires, constituent, reposant sur un terrain imperméable, les marnes du Lias, un niveau d'eau des plus intéressants et qui, pendant longtemps, pour des raisons diverses, restait ignoré et peu utilisé.

Tout ce qui aura trait par la suite à la contexture des alluvions modernes ne saurait s'appliquer strictement qu'à celles voisines de Vesoul nous intéressant et ne peut être généralisé.

Les phénomènes géologiques qui présidèrent à l'édification de ces formes restent très simples : les rivières ont remblayé leurs vallées et construit une plaine alluviale, surface presque horizontale, de faible pente, vers l'aval et dont la largeur est délimitée par l'éloignement des versants voisins.

Le travail d'érosion, de creusement, d'affouillement, a pris ici un rôle très considérable en arrachant aux col-

lines environnantes toutes sortes d'éléments que les eaux transportèrent dans la plaine. En même temps que ce travail de dégradation, s'accomplissait dans la partie basse des rivières un travail d'alluvionnement.

Dans la plaine qui environne Vesoul, les alluvions, déposées par le Durgeon grossi de ses affluents, constituent donc une masse assez importante. *Le Durgeon,* qui arrive au nord-est de la ville, prend sa source vers Genevrey, dans le Lias inférieur; il parcourt successivement toute la série de ces terrains liasiques que nous avons énumérés. Il entre en avant de Vesoul et en ressort bien après par deux vallées relativement étroites : la première en amont, à hauteur de Comberjon, Coulevon, creusée à la base de l'Oolithe inférieure; l'autre à l'aval, vers Montigny, Chariez, où à sa gauche se trouve également des hauteurs couronnées par le Bajocien, mais à droite, il longe le Jurassique supérieur; nous sommes ici à la hauteur de cette longue faille signalée précédemment.

Exactement avant d'arriver à Vesoul, le Durgeon reçoit un affluent assez important : *la Colombine.*

Issue à peu près du même point et des mêmes formations, suivant aussi une direction sensiblement parallèle, cette rivière aura un parcours plus encaissé entre des falaises calcaires qui, par moment, prendront l'aspect de minuscules cañons. La Font de Champdamoy lui apportera un volume d'eau assez considérable.

Entre les points d'entrée et de sortie, ces deux rivières, séparément, puis ensemble, se sont ouvertes, sur une longueur d'une dizaine de kilomètres, une large vallée sur

les marnes tendres et facilement entraînées du Lias. On ne saurait mieux comparer cette vallée qu'à une large cuvette dominée à l'est, au sud et à l'ouest par des falaises et au milieu de laquelle émerge la Motte.

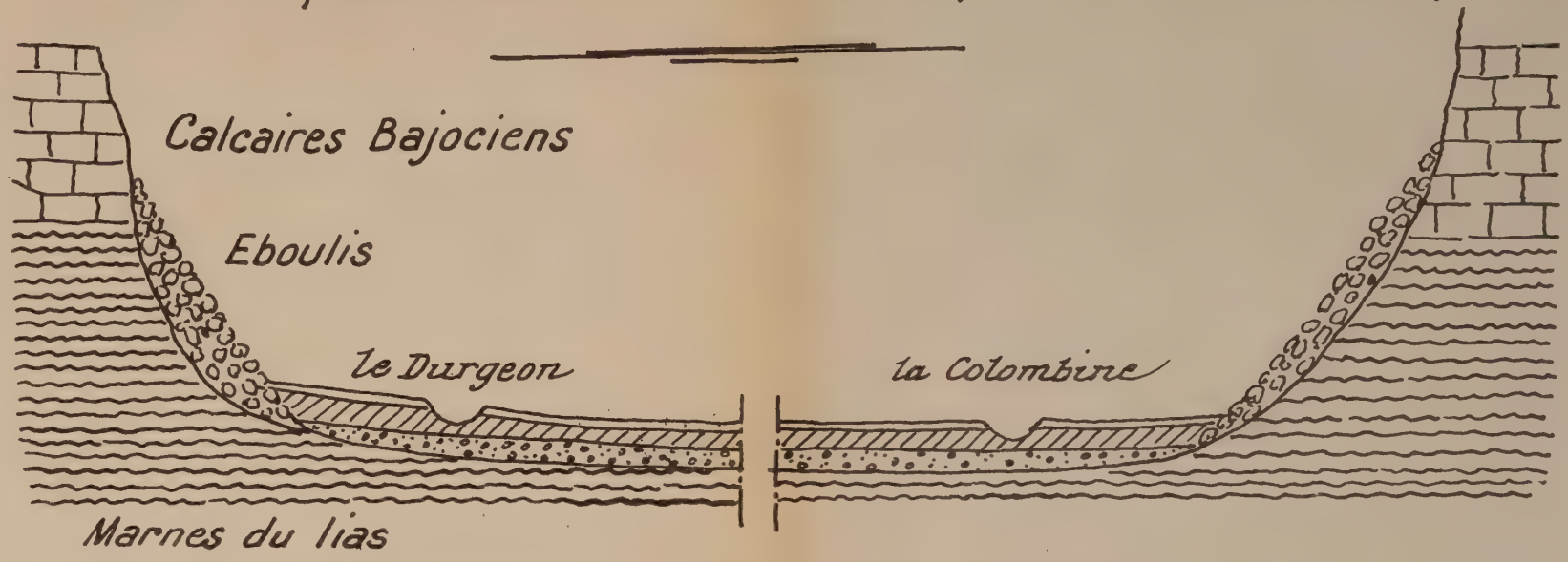
L'approfondissement de la vallée a présenté des périodes d'arrêt au cours desquelles la rivière cessait de creuser un lit à même les marnes et le remblayait au contraire en déposant des alluvions. Leur épaisseur se tient généralement comprise entre deux et neuf mètres. Mais, suivant les points et surtout la hauteur, la succession qu'on observe lorsqu'on vient à les entamer est de nature différente.

A la base, on trouve une nappe plus ou moins épaisse de cailloutis de gros graviers ou de graviers de fond qui représente le travail de la rivière pendant une période de régime torrentiel où la différence des pentes était beaucoup plus accusée que maintenant. Par dessus vient un système formé de terre d'alluvions très compacte, c'est l'œuvre du cours d'eau quand sa pente d'amont était déjà bien réduite. Enfin le tout est recouvert par le limon de débordement, couche peu épaisse de quelques dizaines de centimètres, dépôt qui a eu lieu par précipitation plutôt que par sédimentation dans une eau dépourvue de toute vitesse.

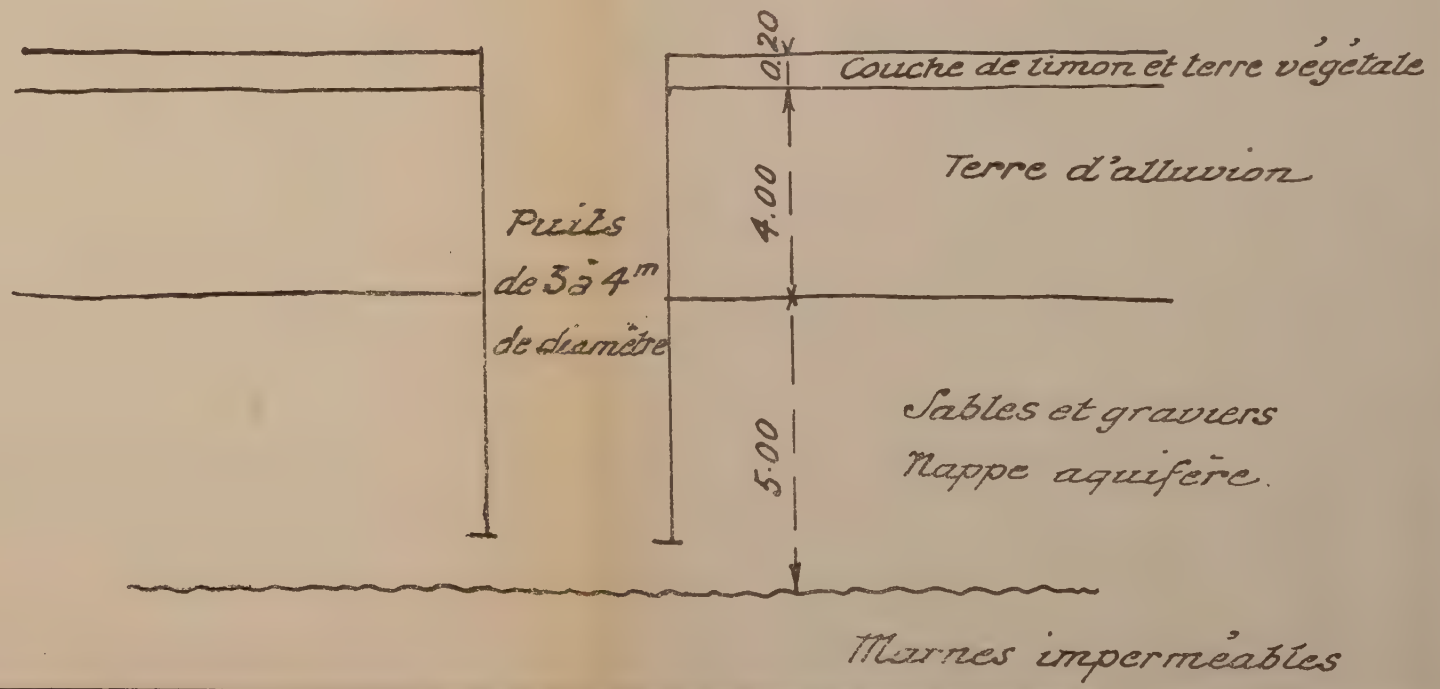
Dans toute la vallée du Durgeon, on rencontre nettement ces différentes couches, mais leur épaisseur réciproque varie sensiblement suivant les points de sondage. En s'en tenant à l'hydrologie, l'épaisseur de la couche de graviers aquifères reste surtout intéressant à connaître et elle semble maxima dans le fond de la vallée, dans le Thalweg.

Coupe schématique

de la plaine alluviale de Frotey à la hauteur des puits



Coupe géologique à l'emplacement des puits



Le sondage moyen des puits utilisés par la ville de Vesoul, dans la plaine de Frotey, en amont, a donné :

Terre végétale et argile		2 m. »
Argile et graviers		2 m. »
Graviers aquifères, entre	3 m.50 et	3 m. 80

Le puits foré à l'usine Dollé, dans un autre endroit de la plaine, en aval de la ville, mais déjà un peu sur les premières pentes des collines, a donné :

Terre végétale	2 m. »
Sable fin argileux	0 m. 50
Terre marneuse	3 m. 71
Graviers aquifères très mélangés de terre	2 m. »
avec une intercalation de couche vaseuse de	0 m. 25

Les schistes sont atteints à 8 m. 15. Chose curieuse, dans ce puits, à 3 m. 80, M. Vernier, ingénieur, qui dirigeait les travaux, a trouvé de gros blocs calcaires en appareillage qu'il attribue à des débris de voie romaine.

Dans un sondage d'essai, encore beaucoup plus en aval, à hauteur de Noidans, on n'observe seulement que 0 m. 80 de graviers aquifères et une épaisseur de limons et de terre considérable.

Dans un puits assez important et récent, placé dans la ville, au pied des dernières contre-pentes de la colline de Cita, on a rencontré les marnes liasiques à 5 mètres seulement et très peu de graviers aquifères.

Tout près de la gare, au garage Larue, à quelque ving-

taine de mètres du Durgeon, on observe les couches suivantes :

Remblai et terre végétale.....	1 m. 70
Argile avec graviers colmatés dans la terre.	5 m. 50
Marnes bleues	0 m. 40
Graviers aquifères	1 m. 50 et +

car le sondage n'a pas atteint ici les schistes.

Nous pourrions multiplier ainsi les exemples qui risqueraient de se répéter.

En ce qui concerne la nature des éléments, et il reste entendu que seuls les matériaux durs ont résisté à l'action des eaux, les éléments tendres étant dissous, nous avons bien observé, lors du forage des puits de la plaine alluviale de Frotey, les roches des différents terrains du bassin des rivières : calcaires lithologiques du Bathonien, calcaire à entroques du Bajocien, Oolithe ferrugineuse avec débris de « *pecten pumilus* » du Bajocien inférieur, éléments de Chaille, morceaux roulés de bélemnites liasiques, calcaires avec débris de gryphées, grès Rhétien, dolomies de Keuper.

Ce sont uniquement des éléments autochtones, contrairement aux alluvions de la Saône et de l'Ognon, on chercherait en vain des galets siliceux d'origine vosgienne.

Tous ces matériaux ont les bords plutôt émoussés que franchement arrondis, de forme presque toujours plate et lenticulaire, parce qu'ils proviennent de couches stratifiées se délitant suivant des surfaces planes; ils ne paraissent pas avoir subi d'action torrentielle particulièrement violente. Leur grosseur reste moyenne entre quatre et cinq

centimètres et dépasse rarement dix. Les interstices des graviers sont colmatés par un sable terreux épais.

Trois éléments concourrent à l'alimentation de nos nappes d'alluvions. Premièrement les pluies qui tombent dans la Vallée directement, les apports superficiels et souterrains des versants et enfin les infiltrations des rivières.

Les eaux météoriques infiltrées ont pour résultat de relever le niveau piézométrique de la nappe qui s'effectue très lentement, la vitesse de l'eau dans la couche d'alluvions étant réduite. Le niveau de la rivière se relèvera également, sans d'ailleurs aucune simultanéité obligatoire dans les deux phénomènes. Au moment des sécheresses, les niveaux de la nappe et de la rivière s'abaissent aussi suivant des lois différentes, et la rivière beaucoup plus vite que la nappe.

Contrairement à ce que l'on serait tenté de croire, les infiltrations de la rivière, et nous le répétons encore, le cas local des alluvions du Durgeon reste seul présent à notre idée, entrent très peu en ligne de compte pour l'alimentation de la nappe. Etant donné la disposition et la contexture des différentes assises géologiques que la coupe jointe met bien en évidence, l'eau qui a traversé les fissures des calcaires ou leurs éboulis, arrêtée par les marnes chemine le long des versants pour gagner le Thalweg de la nappe alluviale et contribuer, très largement à son alimentation.

Le tableau d'analyse que nous donnons et où nous indiquons la minéralisation des eaux du puits de Frotey, le plus proche de la rivière, et de celles du Durgeon, laisse

tout de suite apercevoir la différence existant entre les deux. (1)

	Eau du puits	Eau du Durgeon
Limpidité	claire à l'émission se troublant ensuite	eau légèrement louche
Dépôt	rougeâtre ferrique	faible dépôt de matières terreuses
Oxygène dissous	0,7	9,83
Acide carbonique total	145	127
— libre et semi combiné	23	114
— combiné	52	13
Azote ammoniacal	absence	absence
— nitreux	»	0,1
— nitrique	»	0,2
Matières organiques : acides	1,5	1,1
— alcalines	0,4	1,6
Résidu fixe à 110°	530	297
Perte au rouge	35	28
Degré hydrotimétrique : total	41°5	26°
— permanent.	15°	12°
Alcalimétrie totale	200	105
Silice en SiO^3	17	8
Fer et alumine	15	5
Acide sulfurique en SO^3	70	28
Chlore en NaCl	9,5	5
Chaux en CaO	105	135
Magnésie en MgO	18	19

Bien entendu, ces divers cheminements ne vont pas sans une modification très profonde de la minéralisation des eaux primitives.

(1) Résultats exprimés en milligramme.

En somme, les deux principales sources d'alimentation des nappes régionales restent les eaux météoriques et les apports des coteaux voisins.

Tout considéré, ces terrains conservent une très faible perméabilité; la circulation de l'eau a plutôt lieu par imprégnation successive que par courant ou filet comme dans les sables fins. Elle ne dépasse pas, suivant les calculs assez exacts que l'on peut établir en tenant compte des formules de Lheureux, la vitesse de 100 mètres en 20 jours. Mais comme la surface et le volume de ces nappes d'alluvions est considérable, et qu'elles reposent sur un terrain très imperméable, leur débit sera très constant et pratiquement inépuisable.

Nous pouvons donc conclure que les nappes alluviales, si utilisées maintenant pour l'alimentation des grands centres urbains présentent d'une façon générale, et aussi pour le cas particulier qui nous intéresse, des avantages considérables : débit très soutenu, même en temps de sécheresse, captage possible à proximité des villes, enfin, et ce point est capital, la filtration à laquelle l'eau se trouve soumise par suite de son cheminement excessivement lent, demeure très suffisante et par suite toute épuration artificielle est superflue. La grande pureté bactériologique est de règle pour les eaux d'alluvions.

A l'encontre de ces avantages : pureté, proximité, quantité, certains petits inconvénients, dont nous parlerons, mais qui montent peu à côté des avantages précités.

Comment utiliser la réserve d'eau que contient cette nappe ?

Pour des raisons techniques basées sur la vitesse de

l'écoulement de l'eau, la grosseur des graviers, le peu de débit de la rivière, la valeur filtrante de la couche alluviale, certaine seulement à partir d'une distance assez grande, il est préférable d'employer pour le captage des eaux de la nappe des puits plutôt que des galeries. Celles-ci, de plusieurs dizaines de mètres de longueur, devraient être placées très près de la berge, alors qu'un puits de trois à quatre mètres de diamètre éloigné et par conséquent bien protégé assurera un débit équivalent.

Le choix de l'emplacement, le nombre de puits, leur diamètre et leur profondeur, tout doit être judicieusement considéré en s'appuyant toujours sur les données géologiques régionales indiquées.

En réalité, seul un sondage d'essai permet de déterminer et l'emplacement convenable et le débit éventuel de la nappe ainsi que la qualité des eaux.

Dans nos nappes d'alluvions, le puits d'essai devra être placé de telle sorte que dans leurs parcours horizontal dans les graviers, les eaux puissent être convenablement filtrées et toujours à une certaine distance et des berges de la rivière et des coteaux, car les eaux de ceux-ci risqueraient même de s'écouler jusqu'au Thalweg avec une filtration nulle ou insuffisante.

L'expérience a prouvé également qu'il valait beaucoup mieux construire des puits de diamètre assez grand (trois ou quatre mètres) et assez espacés l'un de l'autre d'au moins 150 à 200 mètres, que des puits de petit diamètre et rapprochés.

Bien entendu on se doit d'éviter l'erreur de certains particuliers qui, sur la foi de sourciers, descendaient leur

puits bien en avant dans la couche imperméable du Lias. Il y a tout intérêt à s'arrêter à 80 centimètres de cette couche pour faire arriver l'eau par le fond et éviter les barbacanes.

Toutes causes possibles de contaminations seront écartées : emplacement des puits en amont des agglomérations, comblement des ruisseaux, interdiction des pâturages et cultures, protection contre les crues qui submergent la plaine par une superstructure des puits assez élevée et une fermeture étanche à la partie supérieure. Enfin, aux abords des ouvrages devront être prévus des talus en terre argileuse constituant une protection contre les infiltrations latérales.

LE FER DANS LES EAUX D'ALLUVIONS

Le cheminement très lent de l'eau dans les terrains alluvionnaires fortement minéralisés a pour conséquence un notable enrichissement en sels dissous, et le passage dans l'Oolithe ferrugineuse au sommet des marnes du Toarcien explique en grande partie la teneur assez considérable en fer des eaux des puits de la nappe alluviale.

Cet inconvénient ne reste d'ailleurs pas seulement local, et il n'est pas rare de trouver de très importantes quantités de ce même métal associé au manganèse dans maintes eaux alluvionnaires.

Comme il y a nuisance, l'élimination s'impose et exige l'emploi d'appareils spéciaux. Nous tenons donc à donner quelques explications et sur l'origine de ce fer et sur ses combinaisons et sur les moyens de s'en débarrasser.

Cette présence, a dit d'ailleurs très heureusement un hydrologue, est plutôt un grain de beauté qu'un défaut réel et n'a aucune liaison avec la valeur hygiénique de ces eaux qui reste excellente.

On constate donc que l'eau des alluvions, et très particulièrement celles qui nous intéressent, qui sort limpide des puits, comme de l'eau de source, ne tarde pas à se troubler après un temps plus ou moins long, à prendre une teinte opalescente et à donner un sédiment rougeâtre relativement abondant.

A l'usage, les réseaux de distribution sont vite encombrés d'un dépôt ocreux au point d'exiger des nettoyages fréquents. Les consommateurs se méfient d'une eau qui leur semble malpropre et malsaine, qui de plus possède une saveur métallique et ferrugineuse assez prononcée, tache le linge, et ne peut servir aux usages industriels.

Quand nous aurons ajouté que le dépôt ocreux favorise l'éclosion de nombreux micro-organismes et de bactéries ferrugineuses telle que : *Crenothrix Polyspora, Leptothrix Ocracea, Galtionella Ferruginea,* que l'eau prend vite une odeur d'acide sulfhydrique, on a tout de suite conclu que l'enlèvement du fer s'impose si on veut distribuer les eaux d'alluvions.

D'où provient ce fer?

Les terrains alluvionnaires qui nous intéressent, avons-nous dit, sont constitués par des matériaux d'apport provenant des collines environnantes. Or, à peu près dans tous les niveaux géologiques que nous avons décrit, le fer abonde à tel point qu'autrefois les minerais de fer étaient très exploités dans la région. Il existe d'ailleurs, sous dif-

férentes formes, à l'état de sulfure et de carbonate, dans les schistes marno-bitumineux du Lias, et surtout à l'état de composés oxygénés, hydratés et silicatés, dans tous les étages Oolithiquee et plus spécialement dans l'Oolithe ferrugineuse, premier niveau du Bajocien, très important dans la région de Vesoul. Ce sont en général des composés insolubles, les composés cristallisés tout formés sont la petite exception. L'analyse des terres d'alluvions, provenant du forage d'un des nouveaux puits, nous a donné sur la poudre sèchée à la température ordinaire une teneur en Fe^2O^3 de 6,60 %, soit en Fe : 4,60 %. Le fer est donc très répandu dans le sol.

Les eaux de précipitation, qui directement ou indirectement alimentent la nappe alluviale, sont pratiquement exemptes de fer et c'est donc au contact du sol et dans le sol que doit se produire le phénomène de la mise en solution du fer. Là où l'acide et le fer sont en présence, il se produit une véritable réaction chimique plus complexe que celle des laboratoires évidemment, mais qui a pour base des phénomènes connus.

La question de la solubilité et du maintien en solution du fer revient à étudier dans quelles conditions les composés ferrugineux et les acides se combinent pour donner des sels de fer solubles.

Car ce fer, pour le dissoudre dans l'eau, il lui faut des acides. Or, tous les acides doivent être pris en considération, mais celui qui maintien surtout le fer en solution est l'acide carbonique. Les acides tels que les acides humiques, sulfuriques, phosphoriques, siliciques retiennent plus rarement le fer. Ce n'est pas que l'acide carbonique soit un acide plus fort que ces derniers, bien au contraire,

c'est un acide faible, mais par sa masse active il dépasse tous les autres, car il se trouve en quantité presque inépuisable dans l'air et dans le sol.

L'origine de cet acide carbonique demeure très diverse. D'abord les précipitations atmosphériques dissolvent l'acide carbonique de l'air. On sait que l'eau, à la température et à la pression ordinaire, peut le dissoudre. L'origine volcanique ne nous intéresse pas dans le cas présent. La décomposition des matières organiques, surtout végétales, à la surface du sol et dans les couches superficielles, par les micro-organismes, intervient aussi dans la production de l'acide carbonique. On a reconnu que les gaz produits par les végétaux en décomposition sont formés par moitié d'acide carbonique et par moitié de méthane et qu'en présence de sulfate de calcium et des bactéries sulfureuses, le méthane passe également à l'état d'acide carbonique et d'eau, et le gaz qui se dégage alors n'est que de l'acide carbonique. Cet acide carbonique s'ajoute à celui que les précipitations atmosphériques ont entraîné et contribue, d'une façon active, à solubiliser le fer dans les terrains sous-jacents.

Le rôle dissolvant de l'acide carbonique à l'égard de toutes les roches est connu depuis longtemps de tous les géologues. Or, le fer, qui se trouve un peu partout, et très abondamment dans les dépôts qui nous intéressent, est ce qu'on appelle un mauvais métal formant des bases faibles et des combinaisons instables. Il est très atteint lors du délitement des roches calcaires et le phénomène de dissolution du fer par l'acide carbonique est général et s'exerce ainsi que les expériences l'ont démontré, aussi bien sur les composés ferreux que sur les composés ferriques.

On a attribué aussi un rôle important aux acides humiques dans la dissolution du fer. Les acides humiques sont produits par la lente décomposition des débris végétaux accumulés à la surface du sol des forêts et des tourbières, et ces acides exercent une action dissolvante sur les composés du fer, car on a remarqué que la présence de ces matières est en relation dans les eaux avec une teneur plus élevée en fer. Mais il semblerait tout de même, pour le cas particulier des alluvions de la région, que ces humates auraient un rôle secondaire dans la dissolution du fer. Dans d'autres circonstances, avec des terrains et des conditions différentes, ils auraient un rôle intéressant et les procédés de déferrisation doivent s'adapter à cette manière d'être.

En quelques mots, il se passerait ceci : les milieux dans lesquels se forment les acides humiques sont des milieux réducteurs, il ne s'y produit pas de combinaisons organiques ferrugineuses, mais des produits d'agglutination de l'hydrate de fer avec les acides humiques, et lorsque les eaux arrivent à la surface, à l'air et à la lumière, une combinaison du fer et des acides sera possible. Le fer à l'état ferreux pourra passer à l'état ferrique, oxyder les matières humiques, se combiner et donner des humates de fer pour constituer avec l'eau un liquide trouble. C'est une vraie pseudo-solution colloïdale, les humates persistent dans cet état sans se déposer et la déferrisation sera plus difficile. Le seul effet direct des acides humiques empêche la précipitation par simple aération de la partie du fer à laquelle ils se sont combinés, car l'aération favorise la formation des humates de fer et par conséquent le maintien dans l'eau d'une partie du fer.

Mais nous insistons encore sur ce point, dans le cas particulier qui nous intéresse, l'acide carbonique joue le rôle primordial, met en solution le fer et le maintien dissous. Par contre, dès que l'eau revient à l'air, il y a départ d'acide carbonique, oxydation du fer et l'hydrate ferrique formé se précipite. L'arrivée à l'air et aussi à la lumière rompt l'équilibre à la faveur duquel le fer était dissous et transforme ce métal solubilisé en composés insolubles qui se précipitent ou restent en suspension dans l'eau. Tous les agents chimiques ou physiques qui peuvent aérer l'eau déterminent la précipitation du fer. Mais, en cas d'acides humiques, il faut aussi pour débarrasser l'eau de tout son fer, recourir à l'intervention d'agents chimiques s'attaquant aux combinaisons organiques ferrugineuses en suspension.

Quantité et combinaison du fer dans les eaux souterraines

Les quantités de fer que renferment les eaux souterraines sont très variables. Souvent le fer ne s'y trouve qu'à l'état de traces, mais d'autres eaux en contiennent en proportion élevée. Debauve et Imbaux citent en France des eaux contenant jusqu'à 120 milligrammes de fer.

Les eaux de puits de la région dont nous avons connaissance contiennent environ 8/10e de milligrammes, 1 milligramme, 1 milligramme ½ et même 7 milligrammes. On admet généralement nuisance, c'est-à-dire obligation de déferriser, lorsque les eaux renferment plus de 0,mg 6 de fer.

Les combinaisons du fer sont aussi très variables. Pen-

dant longtemps, on a admis que le fer dissous dans l'eau, l'était à l'état de carbonate ferreux seul. Mais de nouvelles recherches ont amené plus de réserves et si on dose toujours le fer à l'état métallique, on se prononce plus difficilement sur la nature des combinaisons dans lesquelles il se trouve engagé.

On a divisé pendant longtemps les eaux minérales ferrugineuses en trois classes : les carbonatées, les sulfatées, les crénatées; dans ces dernières, le fer est combiné à des matières organiques spéciales assez mal définies appelées : créniques, apocréniques par Berzélius et par d'autres : humiques, géiques et ulmiques.

Les eaux belges seraient le type des eaux carbonatées, celles de Passy renfermeraient le fer à l'état de sulfate et celles de Bussang à l'état de crénates.

Des travaux postérieurs montrent qu'on trouve la notion du fer existant sous plusieurs formes dans une même eau.

Piefke, qui étudie la nappe souterraine ferrugineuse du nord de l'Allemagne, avait remarqué que la présence de matières organiques dans les eaux ferrugineuses carbonatées augmentait leur teneur en fer.

Osten admet, lui, que le fer est non seulement à l'état de sel hydraté et mal défini de bicarbonate ferreux, mais aussi combiné aux matières humiques.

Dans les dépôts ocreux on constate aussi que le fer est à l'état de carbonate et aussi un peu de phosphate.

Les travaux encore plus récents sur les solutions ont complété, en la modifiant légèrement, l'idée qu'on s'était fait des combinaisons du fer dans l'eau.

On sait, en effet, aujourd'hui, qu'un sel en solution dans l'eau s'hydrolyse, c'est-à-dire qu'à partir d'un degré de dilution déterminé, il est décomposé d'une part, en acide, d'autre part en hydrate et, lorsqu'une série de sels sont dissous en même temps dans l'eau, il se produit un état d'équilibre dans lequel les acides se partagent les bases en proportion de leur force, de leur masse active à la température considérée.

On peut tout de même présumer que dans les eaux où le fer est le métal dominant, et l'acide carbonique, l'acide prépondérant, c'est surtout le carbonate ferreux qui se formera, mais à côté un grand nombre d'autres métaux et acides accompagnent le fer et l'acide carbonique; mais ils restent à une dilution telle, que l'on considère l'hydrolyse comme complète, c'est-à-dire que le fer se trouve dissous à l'état d'hydrate, quelque soit l'acide qui le maintient en solution.

Des travaux encore plus récents montrent que l'hydrate de fer est un hydrate colloïdal complexe d'hydrate ferreux et aussi d'hydrate ferrique maintenu en solution par des acides qui l'accompagnent. Les analyses électro-capillaires de Kopaczewski en sont également la preuve.

La proportion du ferrique au ferreux est très variable et dépend, avant tout, des réducteurs que l'eau renferme.

L'oxygène tend toujours à faire passer l'hydrate ferreux à l'état d'hydrate ferrique, qui, au fur et à mesure de sa formation, est réduit par les matières organiques et revient à l'état ferreux. Par conséquent, dans les eaux souterraines ou l'oxygène se renouvelle que peu ou pas, le fer sera surtout à l'état ferreux.

Nous estimons aussi qu'il faut faire ressortir grandement le rôle de l'oxygène ou plutôt son absence pour déterminer la quantité des sels de fer dissous dans les eaux. Seules, des expériences très généralisées, répétées sur des éléments variés, permettraient de conclure de façon certaine, mais à notre connaissance, toutes les eaux alluvionnaires qui renferme du fer soluble au minimum étaient très pauvres en oxygène. Les eaux de la nappe de Frotey, par exemple, à leur arrivée dans les puits, avec donc un contact très réduit à l'air, contiennent à peine un demi-milligramme d'oxygène.

On serait tenté d'expliquer ainsi le pourquoi de l'absence du fer dans les eaux des sources que nous étudierons et qui, somme toute, contiennent de l'acide carbonique en proportion notable, qui traversent relativement vite d'ailleurs, il faut le dire, des terrains très ferrugineux puisque le calcaire de l'Oolithe inférieure contient 13,85 % de Fe^2O^3, donc beaucoup plus que la terre d'alluvion qui n'en renferme que 6,60 %, mais qui, par contre, sont assez chargées en oxygène.

M. Guillerd, dans son étude sur la stabilisation des eaux ferrugineuses, rapporte que Constant Peeters, dans une étude physico-chimique des eaux ferrugineuses a vu que l'oxydation, facteur d'instabilité, s'accompagnait d'une perte d'acide carbonique. Toute solution tampon propre à combattre le relèvement du pH et qui a pour résultat de maintenir celui-ci le plus près possible de la zone acide lui apparaît comme un stabilisant.

On sait aussi, ajoute-t-il à ce sujet, que les ions H + stabilisent les colloïdes positifs et inversement; c'est pour-

quoi l'acide carbonique des eaux minérales sert à maintenir à l'état colloïdal le fer, parce que de même signe + que lui.

Les acides à valence élevée seraient plus actifs que ceux à valence faible et, lorsqu'il s'agit d'un sel, il se produit des ruptures ou des stabilisations d'équilibre électrique qui sont fonction des échanges intervenus entre l'acidité ou la base du sel d'une part, et les propres constituants du liquide intermicellaire d'autre part.

C'est en partant de ces données que M. Guillerd essaie de stabiliser les eaux ferrugineuses par l'acide citrique ou le citrate tribasique de soude. Ses expériences, nous les avons souvent reproduites avec les eaux ferrugineuses de la région.

Une stabilisation correcte reste assurée pendant 2 ou 3 jours par addition de 2 ou 3 milligrammes de citrate de soude par litre d'eau ou 4 à 6 par addition d'une dose de 10 milligrammes d'une à plusieurs semaines par addition de 20 milligrammes. Une eau d'un puits, très ferrugineuse (7 milligrammes de fer par litre) a exigé pour être stabilisée, 30 milligrammes de citrate par litre.

Ce procédé peut être très intéressant pour une petite installation et évite le coût des appareils mécaniques très onéreux.

En somme, l'état actuel de la question du fer dans les eaux peut se résumer à ceci.

Le fer existe dans les eaux souterraines à l'état d'hydrate colloïdal et secondairement à l'état de combinaisons organiques ferrugineuses. C'est surtout l'acide carbonique, apporté par les eaux d'infiltration, qui détermine la disso-

lution du fer que renferment les terrains et le fer se maintient en solution grâce au milieu réducteur où se fait cette minéralisation.

La grande variété de composition des eaux souterraines ferrugineuses exige des procédés spéciaux de déferrisation dans chaque cas. Elle doit viser spécialement et l'hydrate de fer colloïdal et les combinaisons organiques ferrugineuses. Dans les eaux qui nous intéressent, le phénomène de dissolution étant dû principalement à l'acide carbonique dissous et ses nombreuses combinaisons minérales possibles, une aération énergique suffira pour décomposer les sels de fer et obtenir le dépôt d'oxyde de fer qui, retenu sur un filtre, n'ira pas encombrer les canalisations entraînant les nuisances énumérées plus haut.

DÉFERRISATION DES EAUX

D'après ce que nous venons de dire, on peut distinguer parmi les eaux souterraines ferrugineuses ordinaires

1° d'abord celles qui arrivant à l'air déposent rapidement la totalité de leur fer en devenant incolores et limpides;

2° celles qui sont troubles et ne déposent pas de fer et restent telles pendant des mois;

3° celles qui sont intermédiaires entre les précédentes qui déposent rapidement une partie de leur fer, mais en conservent indéfiniment une autre partie.

Dans les premières, le fer est surtout à l'état de carbonate ferreux; les secondes comprennent du fer combiné

surtout à des matières humiques; dans les troisièmes, il y a en même temps du carbonate ferreux et des matières organiques ferrugineuses.

Si le carbonate ferreux entre presque seul en jeu, et c'est le cas des eaux alluviales que nous étudions, l'oxydation du fer, soit par repos à l'air, soit mieux encore par des moyens mécaniques suivis d'une filtration appropriée, rendra l'eau utilisable. Il est possible aussi, et ces procédés sont moins employés, d'ajouter à l'eau des substances capables d'occlure l'acide carbonique, substances telles que le caoutchouc, la cellulose, le charbon de bois, ou encore de se combiner à lui comme la potasse, la chaux. Si dans les secondes l'aération est sans effet, on emploie alors la floculation ou l'agglutination par des substances qu'on ajoute à l'eau : hydrate ou sulfate d'alumine ou de calcium, ou sur lesquelles on fait filtrer l'eau (charbon de bois, noir animal) ou une destruction des matières organiques par les oxydants forts (ozone, dérivés oxygénés du chlore).

Dans le troisième cas mentionné, il faut employer les deux méthodes : précipiter le fer en solution par oxydation et le fer en suspension par floculation, agglutination ou destruction des matières organiques ferrugineuses.

Nous étudierons seuls en détail les procédés où l'oxydation suffit puisque nos eaux alluviales rentrent tout entières dans cette catégorie.

Les procédés de déferrisation sont appliqués depuis plus longtemps à l'étranger et notamment en Allemagne et en Belgique, qu'en France. Cela tient tout simplement à ce fait que les eaux de sources sont relativement assez

abondantes en France, que pendant longtemps on ne concevait pas autre chose que leur emploi, et qu'il restait une certaine méfiance à l'égard des eaux alluviales. Depuis de longues années, les Allemands sont obligés d'utiliser les eaux de la plaine de la Baltique, très chargées en fer et le problème de la déferrisation s'est posé très important, demandant pour être résolu une ingéniosité constante.

Un des premiers procédés employés est celui de Piefke : l'eau arrive en pluie à la surface d'une tour remplie de coke; l'eau traitée est décantée puis envoyée sur un filtre à sable pour la débarrasser de son fer. On filtre à raison de 1 à 2 mc³ à l'heure par m². Il est nécessaire de laisser l'eau en repos à la sortie de la tour à coke pour obtenir des eaux claires.

Dans le procédé Oesten, l'eau tombe en pluie, projetée de 2 mètres de hauteur, en passant par des pommes d'arrosoirs. Après une heure ou deux de repos on filtre sur sable pour éliminer le fer.

Le procédé de Halle, est peu appliqué : l'eau arrive au centre d'une essoreuse qui la projette en vertu de la force centrifuge sur sa périphérie où elle rencontre un tamis en toile métallique. Elle se brise et se pulvérise et s'oxyde.

En Amérique, le procédé de Pohl est assez employé. On monte l'eau des forages au moyen de l'air comprimé. Si les eaux renferment du fer, celui-ci s'oxyde. Il suffit de reposer l'eau pendant deux ou trois heures et de la filtrer sur un filtre à sable rapide pour éliminer l'oxyde de fer.

Dans le procédé de Darapsky on fait arriver l'eau et l'air sous pression dans un filtre à sable rapide. L'oxyda-

tion du fer va très vite dans ces conditions. On constate aussi que l'adhérence du fer est très grande avec les grains de sable. Ici, les phénomène d'adsorption entrent beaucoup en jeu et ils sont très intenses au moment même où le fer diminuant de solubilité vient adhérer aux grains de sable.

Le système employé pour les puits de Vesoul n'est qu'une variante de ce procédé. Ici, l'eau est toujours oxydée par de l'air comprimé puis filtrée sur des sables de différentes grosseurs. Le tout se passe en vase clos, c'est un système fermé, très simple, qui peut fonctionner automatiquement et qui permet en particulier d'élever l'eau eu une seule fois, de la refouler à travers les filtres et la conduite d'amenée au réservoir. Nous donnerons les détails du fonctionnement des appareils au moment de l'étude des puits.

ETUDE HISTORIQUE SUR LE DÉVELOPPEMENT DE VESOUL ET SUR SON ALIMENTATION EN EAU

LE DÉVELOPPEMENT DE LA VILLE

Ici, comme pour presque tous les centres urbains, l'origine et le développement s'interprètent heureusement par rapport au site naturel. Il faut le rappeler.

En venant à Vesoul, par le Sud, le long parcours d'un plateau souvent rocailleux, parsemé de quelques cultures et de bois, nous amène presque brusquement au bord d'un vaste bassin de prairies verdoyantes.

Tout de suite le regard est accroché par une curieuse colline conique, complètement isolée, qui se mamelonne dans la plaine d'où elle semble jaillir : c'est la Motte, au pied de laquelle s'étale complaisamment la ville.

Le point maître de ce piton facile à défendre, et observatoire remarquable pour surveiller les alentours, devait être vite recherché.

Les premiers hommes y trouvèrent un refuge, et, si on ne peut hasarder que des conjectures sur son occupation

aux époques celtiques et romaines, il y a lieu de supposer un poste vigie relié à ceux des promontoires environnants.

L'époque féodale, avec ses incessantes disputes de territoire, devait vite mettre en relief ce point nécessaire pour dominer le pays. Dans le haut moyen-âge, on signale déjà comme important le « Castrum Vésulium ». A l'abri de ce château, les paysans et quelques artisans viennent chercher aide et protection ; un petit bourg se tasse sur le versant oriental de la Motte et glisse vers la plaine au fur et à mesure des nouveaux arrivants.

La fertilité de la région, la facilité des communications amènent l'établissement du Prieuré du Marteroy et un nouvel afflux de population.

Au XII[e] siècle, il semble que la ville, centre administratif d'un Vicomté, soit déjà florissante et dans les premiers rangs de la Contrée.

Si, dans les siècles suivants, la ville continue à grandir et s'allonger dans la plaine par des faubourgs, comme toutes les marches de l'Est, elle souffre énormément des invasions. Au hasard des traités et des alliances, tantôt françaises, tantôt bourguignonne, et pour assez longtemps espagnole, la ville, bien peu protégée par de maigres remparts, est prise et saccagée par toutes les bandes armées qui ravagent la région. De terribles épidémies de peste la déciment sans cesse du XIV[e] au XVII[e] siècle et la laissent souvent — comme dit un contemporain — : « quasi champestre et peticlement peuplée ».

Mais malgré toutes les guerres et les désastres, devenue

chef-lieu du baillage d'Amont, non seulement la ville se rebâtit, mais prospère aussi bien modestement.

A la fin du XVI[e] siècle, ainsi qu'en témoignent les chroniqueurs : « resserrée dans ses murs, traversée par des « ruelles tortueuses, on compte à peu près 420 feux. Son « étendue est environ, du levant au couchant, 400 pas, sa « largeur un peu moins et sa figure était un quarré long « ayant des portes placées inégalement dans les quatre « faces avec des tours quarrées dans les angles », et Ortellius disait : « Sunt huic urbi fortissima moenia, et oedes luculenter extructae. »

Si le développement de la ville reste lent et ne peut s'étendre que difficilement vers la plaine, c'est que celle-ci, parsemée de « noues », de ruisseaux, est un véritable marécage et toute construction impossible.

Le Durgeon, la Colombine, la Périlleuse, bien modestes ruisseaux pourtant, débordent à la moindre crue, grossis des eaux qui arrivent en trombe du Frais-Puits et des autres fonts après quelques heures de pluie. Toute la plaine est inondée, les routes sont coupées et seule émerge la Motte et les quartiers hauts de la Ville.

Après la conquête de Louis XIV, la Comté rentre définitivement dans la grande famille française, les vieilles rancunes sont oubliées et les habitants heureux d'une paix durable se tournent vers le nouvel état de choses.

Des intendants hardis et entreprenants s'emploient à mettre en valeur la province. Vesoul, centre administratif, en profite largement. De nouvelles routes la relient aux autres villes, les remparts sont démolis, les « noues », les canaux, asséchés et, sur leur emplacement, des rues sont

construites en même temps que de nouveaux faubourgs, au sud, en direction de Besançon, et à l'ouest, à travers les jardins et les vignes, sur le flanc occidental de la Motte, sont ouverts, et que des édifices, toujours existants, sont bâtis.

Le XIX[e] siècle amène un nouveau et rapide développement de la ville qui s'accentue surtout après la construction, en 1858, de la ligne de l'Est, de Paris à Mulhouse. On fonde une gare importante, point de départ d'autres lignes. La population, qui était de 5.000 habitants en 1825, passe à 7.000 en 1860 et depuis lors ne cesse d'augmenter bien lentement, mais de façon continue.

Le gros développement industriel, après la guerre de 1870, et si important dans de nombreuses villes de l'Est, n'a eu ici que peu d'influence sans entraîner des apports sensibles de population, et, à l'heure actuelle, celle-ci ne dépasse pas 11.000 habitants.

Mais, par contre, la ville s'est très étendue en superficie.

L'extension, toujours très gênée par les mêmes menaces d'inondations, s'est poursuivie d'abord le long de « la levée » de Besançon, puis au sud de la gare, vers les premières pentes de Cita, tendant même à englober les villages voisins comme : Echenoz et Navenne, qui, bientôt, ne feront plus qu'un avec Vesoul.

Un programme de voirie judicieusement compris et rapidement exécuté n'a pas hésité à aménager de larges rues, bien entretenues, où le petit pavillon avec jardin prédomine. C'est exactement la formule que l'on souhaite pour les nouveaux quartiers des villes, mais en contre-

partie, les réseaux de distribution s'allongent démesurément et il sera sage de prévoir une distribution bien équilibrée des canalisations d'eau.

En somme, Vesoul est surtout une ville administrative, peu industrielle, de petits commerces, et heureusement desservie par tous les moyens de communications.

L'ALIMENTATION EN EAU ET LES MOYENS PROPOSÉS AUX DIFFÉRENTES ÉPOQUES POUR L'AMÉLIORER

Les anciens puits. — Nous manquons, et pour beaucoup de raisons, de documents sur l'alimentation en eau de la ville aux époques anciennes. Il faut dire d'ailleurs que la question n'avait, et de loin, l'importance actuelle. Au fur et à mesure des nouvelles constructions, on se contentait de forer des puits. En creusant de quelques mètres, pour atteindre les schistes imperméables, on trouve très facilement de l'eau au pied de la Motte, et le problème se trouvait donc vite résolu. De distribution publique, il ne saurait être question.

De tous ces premiers puits, il ne reste guère que le souvenir. On sait que le château de la Motte en possédait un difficile à situer. Dans les fouilles, pour rechercher l'emplacement du prieuré du Marteroy, on a très bien caractérisé une vaste citerne qui servait à son alimentation ainsi qu'une source située un peu en contre-bas.

La place du Grand-Puits a tiré son nom, conservé encore maintenant, du vaste puits public qui existait et qui fut recouvert au début du XIX^{e} siècle.

Tout dernièrement, on a réédifié au même endroit, une fort jolie margelle du XVIII[e] siècle, due à la générosité de M. Bouvaist, propriétaire d'une maison voisine.

Encore un puits, très ancien, orné d'un joli travail de ferronnerie, nettement gothique, nous est resté dans une maison toujours en bordure de cette même place.

Un autre puits public, appelé puits de la Boucherie, existait au coin de la rue actuelle du Palais et a subsisté jusqu'en 1780.

Premiers captages des eaux de la Fontaine Ferme. — C'est du milieu du XV[e] siècle que datent les premiers captages de la Fontaine Ferme de Navenne. Les eaux étaient amenées par des canaux de bois qui traversaient le Durgeon au devant du Moulin des Prés et supportés par des chevalets. On rapporte que les piétons les utilisaient pour entrer dans la ville et en sortir car la partie supérieure de ces conduites était plane et assez large, une personne adroite pouvait passer dessus sans perdre l'équilibre.

Les eaux de la Fontaine Ferme alimentaient une fontaine publique à deux jets, la seule qui existait pour le service de toute la ville. On la situe devant l'ancienne halle, remplacée par le Palais de Justice actuel, du côté nord, dans un petit renfoncement triangulaire formé par l'irrégularité de l'éloignement des maisons d'en face.

Voilà bien peu, sans doute, mais la ville, alors petite, ne comptait guère plus de 2.000 habitants, L'eau de cette fontaine servait uniquement pour la boisson.

M. Griveaud rapporte la façon très pittoresque dont on lavait les rues à cette époque. Il existait, en effet, dit-il, en avant de la Porte Haute, par où on pénétrait dans la

ville, du côté de l'est, près de la Manutention actuelle, une sorte de bassin, « l'étang de question », alimenté par une source de la Motte et qui avait servi de « juge d'instruction » : les accusés étaient passés dans l'eau et suivant qu'ils surnageaient plus ou moins on les déclarait innocents ou coupables. On relâchait les vannes de cet étang une ou deux fois par semaine et l'eau qui en sortait, après avoir lavé la Grande-Rue, dans presque toute sa longueur, allait se jeter dans la Pouilleuse, près de la Porte Basse.

Un peu plus tard, deux autres fontaine sont élevées : l'une, près de la rue des Cannes (de la Halle actuelle) et une autre qu'on croit située place de l'Eglise, mais dont on ne trouve aucune trace.

Dès la fin du XVI[e] siècle, vers 1580, le Magistrat ou le Conseil de cette époque s'occupait, dans une délibération qu'on lit aux archives, de réparations devenues nécessaires aux trois fontaines publiques qui existaient alors et qui, avec des puits nombreux, suffisaient à tous les besoins de la population, On reconnaissait que l'eau des fontaines était fraîche et agréable à boire.

Depuis ces époques, jusqu'au milieu du XVIII[e] siècle, on ne trouve pas de documents concernant les eaux et fontaines, Il faut le répéter encore, pendant toutes ces longues années, notre pays est remué et dévasté, soit par les guerres, soit par la peste. Les habitants vivaient au jour le jour, sans grand souci de ce qui pouvait alors paraître superflu. Une fontaine paraît même seule subsiter et le Conseil de la Cité reconnaît qu'elle est ruinée et qu'il faut capter des sources à la Motte.

Anciennes Fontaines. — Après la conquête française,

Vesoul, chef-lieu du baillage d'Amont, subit des améliorations heureuses, la ville se développe et on entreprend des grands travaux, soit publics, soit particuliers.

En 1780, M. Miroudot de Saint-Ferjeux étant alors subdélégué de l'Intendance en Franche-Comté, les conduites en bois de la Fontaine Ferme sont remplacées par des canaux de fer coulé qui servent pour l'alimentation de 5 fontaines.

Une d'elles est adossée au mur de clôture de l'hôpital, dans la rue conduisant au quartier de cavalerie.

Une autre, au carrefour du faubourg Bas, contre la première maison, à gauche, de la rue du Breuil.

Une sur la place de la Concorde (de l'Eglise).

La quatrième sur la place du Présidial (Palais de Justice).

La cinquième au faubourg Haut, adossée contre le bâtiment de la Manutention militaire.

Plus tard, on en établit deux autres : en 1822, une sur la place Neuve; en 1824, une devant la Préfecture qui reste toujours encastrée dans le mur du Lycée. De toutes, elle subsiste seule avec celle de la place de l'Eglise, reconstruite en 1808 et destinée à remplacer le monument projeté, mais jamais élevé, qui devait, sous la forme d'une colonne, glorifier la mémoire des soldats français morts pendant les guerres de la Révolution. Mais, en 1850, on l'enlève pour la transporter au Cimetière. Colonne pyramidale, d'architecture élégante, avec des lignes très sobres au milieu d'une vasque polygonale, il est à souhaiter qu'un jour elle revienne orner une des places de la Ville.

En même temps que les fontaines sont construites, chaque maison particulière un peu importante tient à avoir un puits et de ces puits il en reste encore quelques-uns comme le beau puits de la Maison Boisselet.

Travaux effectués au début du XIX^e^ siècle. — Avec le XIX^e^ siècle, le service des eaux commence à devenir important. La ville se développe et de plus les besoins deviennent sans cesse grandissants. Périodiquement, le problème de l'eau potable se pose aux diverses municipalitées qui se sont succédées et qui s'efforceront de le résoudre.

Les archives communales se remplissent de projets, de comptes rendus, de délibérations pour améliorer et agrandir le service des eaux.

Il n'est pas superflu, peut-être, de les citer chronologiquement.

En 1807, nous retrouvons une délibération du Conseil municipal pour une meilleure répartition de l'eau et l'ornement des fontaines où, dans beaucoup de ces fontaines, l'eau arrivait par des vieux troncs d'arbres. Pour les multiplier, il est proposé d'établir un réservoir dans un endroit élevé et de rendre le jet de l'eau intermittent par un système qui coupe l'eau à volonté. Les canalisations sont aussi en très mauvais état, s'obstruent ou se brisent et il faut envisager leur réfection.

En 1808, voici de nombreuses plaintes sur le mauvais fonctionnement des fontaines de la ville qui manquent très souvent d'eau par suite du peu d'entretien. Il y a beaucoup de pertes d'eau depuis la source jusqu'au robinet situé près du pont de l'Hôpital par où les tuyaux entrent en ville.

En 1828, c'est la proposition de construction d'une fontaine en pierre de taille dans la partie du Faubourg Haut, le long du mur de l'ancien Séminaire. Cette fontaine sera alimentée concurremment avec celle du Séminaire par diverses sources de la Motte. En dédommagement, la Ville cède 400 mètres de tuyaux pour l'amenée de l'eau.

En 1833, le mauvais état des canalisations des fontaines exige une prompte réparation et un marché est passé avec le sieur Dulac pour l'entretien des fontaines et des canalisations.

Dans l'été de 1840, le département fait creuser un puits dans la Maison de Correction de Vesoul. La coupe du puits se présente ainsi : deux mètres de terre végétale sans consistance, au-dessous de cette couche une masse compacte de schistes (pierre morte du pays) de 10 mètres d'épaisseur. Une source est trouvée à 9 mètres et, malgré une grande sécheresse produit 20 à 25 litres d'eau par minute. On propose même de distribuer l'excédent d'eau à la ville.

A peu près à la même époque, vivait un sourcier célèbre, l'abbé Paramelle de Saint Céré, dont les investigations sont restées fameuses. Venu dans la région, la Municipalité d'alors, le prie de chercher les sources susceptibles d'alimenter la Ville.

Il indique dans la Motte, d'abord, une source au Creux des Six heures, à 4 mètres de profondeur et grosse comme le doigt. Une deuxième source aux Danvions, à 5 mètres de profondeur. Une troisième aux Mortes Pierres, à moins de 5 mètres et grosse comme deux fois le doigt.

Cette question des sources de la Motte revenait maintes

fois à l'ordre du jour et semblait constituer la solution parfaite. Mais la plus élémentaire enquête ne permet pas de s'y attarder. D'abord, débit très insuffisant pour une ville puisque le bassin alimentaire est réduit à rien; de plus, le captage est rendu très difficile, le contact du Bajocien inférieur avec le Toarcien se trouve masqué par une masse importante d'éboulis où les filets d'eau se perdent.

A Navenne, à la Fontaine Ferme, le même sourcier conseille d'établir un barrage de 10 mètres de longueur coupant la vallée. Il indique aussi une quatrième source à 4 mètres de profondeur.

Au cours des années suivantes, la population augmente et le service des eaux ne laisse rien moins qu'à désirer; seules les 7 fontaines citées continuent seulement à alimenter la Ville, quelques quartiers manquent complètement d'eau pendant l'été, lorsque l'abondance de la source diminue — et cela parce que les fontaines coulent sans arrêt, — perdant sans aucun profit les 9/10e de l'eau amenée. Il arrive souvent que les fontaines basses donnent seules encore de l'eau et que celles placées dans les quartiers plus élevés sont taries.

Réalisation du projet de M. Le Beuffe et établissement de nouvelles fontaines. — La Municipalité veut remédier à cette situation et charge M. Le Beuffe, architecte de talent, d'étudier un projet complet de réorganisation de la distribution de l'eau.

Le projet de M. Le Beuffe, qui a été adopté en 1844, prévoyait le remplacement des 7 fontaines existantes par 20 bornes-fontaines intermittentes d'un modèle spécial et très nouveau pour l'époque, à l'abri de la gelée. Un pas

de vis permet de plus de brancher une pompe à incendie. En outre, l'eau était recueillie à la sortie de la source de la Fontaine Ferme, dans un réservoir de 300.000 litres, qui alimenterait directement les bornes-fontaines et les concessions qui pourraient être établies, et enfin le surplus des eaux irait dans un autre réservoir de 300.000 litres, également à construire, près de l'ancien séminaire (Hôpital actuel). Le récipient offrirait donc une ressoursce et pour les cas de réparation et pour ceux d'incendie. Il faciliterait une meilleure distribution d'eau, constituerait un approvisionnement pour deux ou trois jours et permettrait de nettoyer à intervalles rapprochés les rues et les égouts.

On écarta, avec juste raison, définitivement la proposition, plusieurs fois répétée, de M. Reichnecker qui concevait un projet de distribution dans des tuyaux de poterie et on décida que l'amenée de la distribution se ferait par des tuyaux de fonte.

Captage de la Fontaine au Diable. — Le projet de M. Le Beuffe, qui fut rapidement exécuté, apporta, pendant plusieurs années, une amélioration heureuse, mais, vers 1860, l'établissement du Chemin de Fer amena un accroissement assez considérable de la Ville et on manqua encore d'eau. C'est à cette époque que l'on résolut le captage de la Fontaine au Diable.

Lorsque les eaux de la Fontaine au Diable furent amenées en Ville et donnèrent un minimum de 125 litres à chacun des 7.000 habitants de l'époque actuelle, on croyait bien que la question était, et pour très longtemps, définitivement réglée. D'autant plus, d'ailleurs, qu'en 1875, la

Ville s'était décidée à construire un nouveau réservoir de 1.200 mètres cubes à côté de celui qui existait et qui constituaient alors à eux deux une très importante réserve d'eau.

Nouvelles recherches d'eau. — Mais, dès 1890, et surtout après l'année particulièrement sèche de 1893, on se préoccupe de trouver de nouvelles sources pour parer à l'insuffisance de celles de Navenne et d'Echenoz.

Les suggestions, et nous allons en donner quelques-unes, ont été très nombreuses. C'est dire que le problème de l'eau, malgré sa difficulté, ne laissait personne indifférent.

On pensa d'abord utiliser Champdamoy et nous avons dit pourquoi les divers projets ont été abandonnés les uns après les autres.

En 1893, M. Holtz, ingénieur, propose de faire des fouilles au-dessus de la Fontaine au Diable, sur le plateau qui va à Andelarrot, au delà de la Providence. Il prétend qu'en creusant on arrivera à une nappe d'eau excessivement importante. Le sondage effectué va à près de 20 mètres sans résultat. C'est la différence de niveau entre la Fontaine au Diable et le début du sondage.

Cet essai malheureux, illustre et confirme, entre bien d'autres, les théories des professeurs Martel et Fournier qui prétendent, avec juste raison, que les nappes d'eau, dans les calcaires, n'existent pas. M. Holtz partait d'idées que peut-être il ne savait pas fausses et, en tout cas, il ne pouvait réussir.

Vers la même époque, on envisage aussi de capter les eaux des ruisseaux de Vellefaux et d'Echenoz-le-Sec qui

donnent 246 litres par minute chacun. Mais si le captage est aisé, l'amenée par simple gravitation offre des difficultés. Le dénivellement oblige à faire des conduites de profil très irrégulier et on risque des à-coups dans la canalisation.

Avec les années suivantes, la situation ne s'améliore pas, bien au contraire, et on se demande comment résoudre ce problème.

En 1898, le sieur Blanchard, carrier à Andelarrot, prétend avoir trouvé au lieu dit : « Fontenotte », commune d'Andelarrot, une source ou mieux une nappe d'eau très considérable qu'il céderait à la Ville de Vesoul. Une tranchée, établie pour mesurer le débit de cette source, permet de constater tout simplement que le captage diminuait d'autant les sources de la commune d'Andelarrot.

En 1899, M. Girardot propose d'utiliser la source dite « Mougin », abandonnée par la commue d'Echenoz. Mais cette source, vraisemblablement une résurgence de Solborde, est très gravement contaminée et partant inutilisable.

Au même temps, MM. Cheviet et Chaudey proposent d'amener les eaux du Durgeon dans un ou plusieurs réservoirs et de construire une canalisation qui servira aux usages industriels et au lavage des rues et des égouts. Déjà, à ce moment, on se méfiait des doubles canalisations. Les villes qui en ont fait l'essai les abandonnent les unes après les autres. De plus, le projet envisagé a paru très onéreux à réaliser.

On se demande alors si l'amenée des eaux des sources des bois d'Auxon ne serait pas susceptible de compléter le déficit de celles existantes et M. Humbaire, architecte,

chargé de faire une enquête, surtout en ce qui concerne les sources du Batard qui, réunies à celles du Creux Salé, peuvent donner un débit de 5 à 600 litres par minute.

Mais le captage de ces sources situées à peine plus haut que le réservoir, la difficulté et la longueur d'amenée (12 km.) et, d'autre part, le taux élevé en sulfate de chaux, car les eaux sont issues du Lias, rendent le projet très aléatoire.

Enquête de MM. Imbaux et Vuillemin. — Devant ces insuccès, M. Grillon, maire, décide de faire venir MM. Imbaux et Vuillemin, hydrologues et professeurs à Nancy, pour enquêter et sur les eaux d'Echenoz et sur celles de Champdamoy. Ils concluent en ce qui concerne Echenoz qu'il serait souhaitable de s'entendre avec cette commune pour un meilleur captage de toutes les sources et de ne pas laisser perdre la source d'Aigneley, la Fontaine Lyautey et d'autres sources et d'arriver ainsi à une répartition raisonnable des eaux. Mais la commune d'Echenoz oppose une fin de non recevoir à ces propositions.

M. Imbaux conseille aussi d'établir des puits sur le versant des collines entre Echenoz et Noidans, au bas des rochers avec des galeries drainantes. Mais étant donné la valeur du terrain alors planté en vigne, les ouvrages sont difficiles à exécuter.

Cette idée qui consiste, somme toute, à établir un barrage à la limite, entre les calcaires Bajociens et les marnes du Lias, vient d'être reprise, très heureusement par M. Gaussin, ingénieur, pour l'alimentation de Navenne et de Noidans. Les résultats se sont révélés satisfaisants pour

de petites communes, mais si on recherchait un débit par trop élevé, il serait à craindre de ne pas le trouver.

M. Imbaux confirme aussi les précédentes enquêtes sur l'eau de Champdamoy et fait remarquer que les causes de contamination qui peuvent venir de très loin rendent l'eau très suspecte.

Quelques années plus tard, en 1904, on propose encore à la commune d'Echenoz, de remplacer les fontaines à jet continu par un jet intermittent.

Le trop-plein de la source d'Echenoz et de la Fontaine d'Aigneley sera réuni aux tuyaux de prise de Vesoul. Mais, la commune d'Echenoz a des exigences telles qu'il est impossible d'arriver à un accord.

Proposition de M. Cheviet. — M. Cheviet, entrepreneur, qui, de par sa profession, avait eu souvent l'occasion d'exécuter d'importantes adductions d'eau, tient à faire une enquête serrée sur la distribution de Vesoul.

Voici son argumentation et les suggestions qu'il propose.

Le diamètre de la conduite composée des eaux de Navenne et d'Echenoz est suffisant pour amener, dit-il, au réservoir un volume de 15 litres par seconde (11 litres Echenoz et 4 litres Navenne), ce qui donne un volume de 1.300 mètres cubes par jour. Pendant la période de sécheresse ordinaire, alors que les quantités d'eau mesurées aux sources sont encore de 17,8 litres par seconde, il ne peut arriver que 15 litres au réservoir. C'est une perte de 2.8.

Il y a donc lieu, pour éviter cette perte, de construire un réservoir spécial pour recevoir le produit des sources

de Navenne et d'envoyer au réservoir du Séminaire le produit des sources d'Echenoz. Le point choisi pour ce nouveau réservoir, de 1.000 à 1.200 mètres cubes, se trouverait aux abords du croisement de la route N° 57 avec la vieille route, à 350 mètres du carrefour du Boulevard de Besançon. Ce niveau serait le même que celui du réservoir existant.

La proposition de M. Cheviet, intéressante par ailleurs et qui permettait une meilleure répartition de l'eau dans un quartier déjà en plein développement, ne fut pas retenue. Elle ne résolvait pas le problème de l'eau au moment des grandes sécheresses. Le chiffre de 17 litres par seconde reste tout à fait exagéré à ce moment. Avant donc de construire le réservoir, il fallait chercher d'abord à l'alimenter.

Les réparations exécutées en 1905 et 1906 à la Fontaine Ferme et les très importantes, pour reprendre le captage à la Fontaine au Diable, améliorèrent beaucoup le service des eaux; seulement dans les périodes de sécheresse extrême la pénurie se faisait sentir.

Après la guerre de 1914-1918, si la Ville ne subit pas un accroissement sensible de la population, du moins les besoins d'eau ne cessèrent d'augmenter et toujours le problème de l'eau vient de nouveau se poser aux Municipalités existantes.

M. Morel était à ce moment maire de Vesoul depuis déjà de longues années. Très au courant des recherches et des travaux de ses prédécesseurs, il savait que la question serait difficile à résoudre. Cependant l'urgence s'imposait.

Il s'adresse tout de suite au Professeur Fournier, de

Besançon, dont les nombreux travaux font autorité et qui connaît admirablement la région.

Après une étude serrée, on pensa aux sources du Val-Saint-Eloi, de la Bannie et Bruand. Nous en avons parlé en temps voulu et indiqué les raisons nombreuses qui les ont fait rejeter.

Une amélioration peut être tentée par le captage soit de la source de Solborde, soit des résurgences qui vont ressortir à la source d'Aigneley. Mais l'acquisition de ces sources présente la même difficulté et la même incertitude qu'autrefois pour aboutir.

Projet de filtration et de stérilisation des eaux du Durgeon. — On a envisagé alors la possibilité d'une solution consistant à filtrer et à stériliser les eaux du Durgeon, mais le professeur Fournier s'y oppose, s'exprimant ainsi :

« Cette solution serait la plus coûteuse et la plus mau-
« vaise de toutes : la plus coûteuse, car elle comporterait
« l'organisation d'une installation filtrante d'une stérili-
« sation rigoureuse et continue et l'établissement d'une
« station de pompage.

« La plus mauvaise, car même filtrées et stérilisées, les
« eaux du Durgeon resteraient sulfatées et d'un degré
« hydrotimétrique trop élevé, et, en outre, la moindre
« négligence dans la stérilisation, la moindre panne dans
« les dispositifs de filtration et de stérilisation livrerait à
« la consommation des eaux très dangereuses. L'emploi
« de la filtration et de la stérilisation est à déconseiller
« toutes les fois qu'on exerce ces opérations sur des eaux
« qui ne sont pas préalablement à peu près potables. On
« peut l'employer pour traiter des eaux de grandes rivière-

« res mais non pour traiter des eaux de cloaque fangeux
« comme le Durgeon. En résumé, projet absurde et néfaste
« et ne présentant aucune garantie hygiénique. »

Nous avons tenu à nous rendre compte du degré de contamination des eaux du Durgeon en période normale et l'analyse bactériologique nous a donné les résultats suivants :

Analyse bactériologique des eaux du Durgeon

Prélèvement du 5 octobre 1936

effectué au déversoir du Jardin Anglais

Beau temps, mais pluies assez abondantes une dizaine de jours avant, ayant déterminé une crue importante; le régime est redevenu normal.

Eau légèrement louche. T° eau = 11°. T° ext. = 13°.

1° Numération des germes sur gélatine, par cm³ :

Espèces liquéfiantes chromogènes.....	10
Espèces liquéfiantes non chromogènes.....	300
Espèces non liquéfiantes chromogènes.....	absence
Espèces non liquéfiantes non chromogènes.	320
Moisissures	absence

Principales espèces trouvées : Cryptococcus Glutinis (Kutzing) — Coccus Candicans (Flugge).

2° Anaréobies par cm³	3
3° Recherche du coli-bacille, par litre	110

Recherche de la contamination totale: sur 5 cm³, positive
— sur 10 cm³, positive
— sur 20 cm³, positive

Etablissement du premier puits dans la nappe alluviale de Frotey. — C'est alors que le Professeur Fournier conseille le procédé qui jusqu'ici a été peu employé, mais

qui, maintenant, facile à réaliser, donne d'excellents résultats : celui d'élever les eaux des nappes alluviales. Justement celles des environs de Vesoul se présentent dans des conditions les plus favorables. On peut y puiser, sans crainte de la voir tarir, et le savant géologue désigne les deux emplacements les plus propices :

Le premier, dit-il, dans la vallée du Durgeon, au nord et à l'amont des Promenades, au « Pré Cointot ». Il faudrait procéder à deux sondages pour se rendre compte de l'épaisseur des alluvions. On traversera, sans doute, des couches argileuses et limoneuses, puis des marnes et enfin des sables et des graviers. Plus leur épaisseur sera grande et meilleures seront les conditions comme qualité et comme débit. Il faut pousser les sondages jusqu'au Lias qui forme le fond de la vallée.

Le deuxième sera choisi entre Vesoul et Vaivre, à l'est de ce dernier village, au nord de la ligne de Vesoul à Paris. Ici, l'épaisseur des alluvions sera probablement plus grande et le débit de la nappe sera plus considérable.

Toutes les suggestions du Professeur Fournier furent, comme de bien entendu, retenues, et dans l'étude des puits de la nappe alluviale de Frotey, nous dirons comment les travaux du puits des « Prés Cointot » ont été conçus et réalisés.

Les sondages, près de Vaivre, moins favorablement situés, en aval de la Ville, et ne présentant qu'une mince couche de graviers, n'ont pas été poursuivis.

Avec les 36 mètres cubes d'eau par heure que pouvait fournir le puits existant et l'amenée des sources, on pen-

sait bien être à l'abri de disette d'eau pendant un certain temps. Mais encore une fois, les événements ont dépassé, et très largement, les prévisions. Dès 1929, à chaque période de sécheresse, la distribution est suspendue la nuit et souvent une partie de la journée. Si l'eau distribuée ne servait que pour la boisson, il serait sans doute facile de constituer une petite réserve pour parer au plus pressé, mais, et surtout depuis quelques années, dans toutes les villes un peu importantes, les usages de l'eau, tant pour l'hygiène, le confort et la sécurité, ont pris une importance telle qu'il est presque impossible de s'en passer et l'arrêt de la distribution occasionne de grosses perturbations dans tous les services.

Le nombre des concessions particulières n'a cessé de s'accroître en forte proportion; en voici d'ailleurs la progression :

Au 31 décembre	1900	on en comptait	....	205
Au 31	—	1910	—	....	410
Au 31	—	1920	—	....	585
Au 31	—	1930	—	....	860
Au 31	—	1935	—	....	1040

On n'admet plus, et avec juste raison, le manque d'eau.

Les Municipalités ont tout intérêt à pouvoir fournir les quantités demandées, car elles tirent un certain profit pas du tout négligeable de ce service.

Aussi, dès 1930, un avant-projet pour nouvelle adduction d'eau a été mis à l'étude par la dernière Municipalité et par délibération en date du 14 décembre 1931, elle

en a approuvé les grandes lignes et décidé sa réalisation par étapes.

Peu après, un emprunt important fut contracté pour travaux d'édilité et une somme réservée pour l'amélioration du service des eaux. De ce projet, seule on réalisa la construction d'une station de déferrisation des eaux du puits construit. Le reste fut ajourné.

La nouvelle adduction d'eau. — En 1934, la période de sécheresse, qui a presque duré toute l'année, a rendu encore une fois de plus les travaux complémentaires urgents et indispensables. M. René Veil qui venait de prendre la Mairie, après la disparition si tragique de M. Paul Morel, a tenu essentiellement, en administrateur et réalisateur, à mettre fin à cette situation. Il réunit, dès le début de l'été, la Commission des eaux, et la prie, en s'entourant de toutes les compétences possibles, de faire étudier, par M. Joly, ingénieur voyer, un projet pour compléter la quantité d'eau à distribuer et pour améliorer la répartition.

Voilà les données qui servirent de bases et guidèrent les travaux de la Commission.

Quantité d'eau à fournir. — Le premier problème à résoudre était celui de la quantité d'eau nécessaire à l'agglomération vésulienne. Ce point de départ reste assez délicat à déterminer. Il s'agit de satisfaire des besoins qui croissent d'année en année. Or, les travaux à entreprendre étant coûteux, il importe d'une part de limiter les besoins au strict nécessaire, d'autre part, ce qui semble contradictoire, de les évaluer de manière à assurer le plus long-

temps possible l'alimentation en eau malgré l'accroissement progressif des besoins. Dire qu'il faut beaucoup d'eau, c'est très vague; on ne peut, bien entendu, aller jusqu'au gaspillage, ce dernier défie toute estimation. On devra donc évaluer, aussi exactement que possible les besoins actuels, ainsi que les besoins futurs. Il y a une limite aussi à la prévision de ces besoins; on reste dans une marge raisonnable en la fixant à trente ou quarante ans. C'est, en général, la période de temps, au cours duquel s'amortit l'emprunt destiné à faire face à la dépense du projet qui doit être suffisant pendant toute cette durée.

Ce premier point étant établi, quelle est la quantité d'eau nécessaire? Pour ne pas la fixer à la légère, dans des cas semblables, des travaux très sérieux ont été faits par des ingénieurs hydrologues expérimentés qui ont établi des statistiques solides pour les villes suivant leur importance. La base de comparaison généralement adoptée est la consommation moyenne par tête et par jour, c'est le quotient du volume total de l'eau arrivée chaque jour au réservoir par le chiffre total de la population desservie. Cette base de comparaison rapporte donc à chaque tête d'habitant toute l'eau distribuée.

Il faut considérer aussi que dans les distributions d'eau, il y a des heures de pointe, exactement comme dans les distributions d'électricité. La consommation des mois d'été est au moins le double de la consommation d'hiver, et dans une même journée, la consommation varie d'heure en heure. Ainsi, entre 9 heures et 15 heures, elle est presque quadruple de la consommation entre 22 heures et 5 heures du matin. Ces données sont très importantes, car s'il faut tabler sur des moyennes, il faut penser aussi qu'à

certains jours, et à certaines heures de ces jours, les réserves, les canalisations devront faire face à un débit quatre fois plus fort que le débit moyen.

D'ailleurs, tous les chiffres que nous allons donner ultérieurement se rapportent au maximum de consommation

On peut répartir ainsi la consommation d'eau : d'abord les services privés, boissons, ménage, nettoyage des habitations, du linge et du corps; on l'estime à 80 litres. Jusqu'ici les besoins industriels n'ont pas été très importants à Vesoul, mais depuis peu, on commence à avoir de gros consommateurs d'eau et il est juste d'en prévoir d'autres et de réserver une marge de 30 litres. Pour les services publics, c'est-à-dire le nettoiement, l'arrosage, les urinoirs, les bornes-fontaines encore très nombreuses, il faut prévoir également 30 litres. Les pertes d'eau sont aussi inévitables, même dans les meilleures canalisations, et ce n'est pas exagéré de les estimer à 20 % des chiffres ci-dessus; ce qui donnerait au total :

80 + 30 + 30 + 25 lit. (pour les pertes), soit 165 litres par jour et par habitant.

Pour les besoins futurs, puisqu'il a été démontré que la consommation d'eau va toujours en augmentant d'année en année, l'accroissement peut être évalué à 2 litres par jour et par année, et pour 30 ans, le temps d'amortissement du projet : 60 litres.

165 + 60, soit 225 litres par jour et par habitant.

C'est un chiffre qui évidemment dépasse de beaucoup la moyenne actuelle de 125 litres (c'est le chiffre constaté

l'été 1934, au moment où la consommation était très élevée) mais qui n'a rien d'exagéré et qui correspond à peu près à l'augmentation des trente années écoulées à condition que le chiffre de la population n'augmente pas sensiblement, ce qui est peu à prévoir. L'historique du développement de la Ville nous renseigne à ce sujet.

En définitive, si on veut établir un projet sur des bases solides et qui règle la question de l'eau pendant plusieurs décades, il faut prévoir :

225 litres × par 10.000 habitants, soit : 2.250 m³ d'eau journaliers à trouver pour alimenter la ville en eau.

Or, on pouvait compter :

1° sur les sources de Navenne et d'Echenoz, dont le débit, au cours de l'été de 1934, particulièrement sec, est descendu à 180 litres à la minute;

2° sur le puits de la nappe alluviale de Frotey, qui en 24 heures, à la même époque, a un débit de 500 m³.

En période d'étiage, on dispose donc :

des sources de : 180 × 60
× 24 ..... = 260 m³

du puits ..... = 500 m³

soit : ..... = 760 m³

On tablait sur un minimum, mais les mêmes circonstances peuvent très bien se reproduire, il faut compter aussi, avec les réparations, soit de la pompe, soit de l'amenée des sources. De sorte que pour compléter l'alimenta-

tion en eau potable de la ville, on devait procéder à une nouvelle adduction d'une capacité de :

2.200 — 800 = 1.400 m³ en chiffre rond.

Il restait, bien entendu, que cette quantité d'eau n'était à envisager que pendant quelques semaines par an, mais, à ce moment, les besoins — sont les plus impérieux. Pendant les 3/5e de l'année le débit des sources peut suffire.

Nouvelle enquête sur les ressources en eau de la région. Où trouver maintenant, en période de sécheresse, cette importante quantité d'eau ?

Pour ne rien laisser au hasard, la Commission des eaux a voulu reprendre les travaux exécutés déjà antérieurement et rechercher s'il n'existait pas, à proximité de la ville, une émergence susceptible de fournir le débit précité et de laquelle on puisse, par simple gravitation, amener l'eau dans le réservoir de la Ville.

Il peut, en effet, sembler paradoxal que dans une région où les sources abondent, placées souvent à flanc de coteau dans une position très favorable, on soit obligé d'aller chercher l'eau dans la plaine, de la pomper, de la déferriser et partant d'installer des appareils coûteux à construire et à entretenir.

Mais en examinant les uns après les autres, tous les points d'eau des environs de Vesoul aucun n'est susceptible de fournir, en temps de grande sécheresse, les 1.400 mètres cubes nécessaires. L'enquête géologique révèle ici toute son importance et étaye de raisons solides les arguments que l'on peut invoquer.

Les sources du Lias, si, à la rigueur avec des captages appropriés, elles peuvent fournir un débit raisonnable, sont de composition telle que leur usage ne va pas sans inconvénients.

Celles du niveau bajocien-toarcien sont, et nous en avons donné amplement les raisons, et de débit très inconstant et fort sujettes à contamination.

D'ailleurs, toutes celles un peu intéressantes ont fait depuis longtemps l'objet de captages par les communes voisines.

La Font de Champdamoy qu'on s'étonnait toujours de voir non utilisée, doit être irrémédiablement abandonnée. Probablement des recherches le long de la grande faille qui s'étend du sud de Grattery au delà de Rosey donneraient des résultats ainsi qu'en témoigne la Font de Baignes. Mais il est aisé de prévoir que l'élévation et l'amenée des eaux à pareille distance (18 kilomètres) exigeraient des travaux extrêmement onéreux.

En définitive, on ne voit pas l'utilité de s'obstiner à découvrir ou capter des sources qu'il faudrait aller chercher très loin et desquelles on ne sera jamais très sûrs de la pureté et de l'abondance.

Toutes les autres suggestions que nous avons passé en revue, qui ont été proposées aus différentes époques, ne méritent pas d'être retenues.

La seule solution dans l'état actuel des choses pour améliorer l'alimentation en eau de Vesoul, restait encore d'utiliser les eaux de la nappe alluviale. L'expérience acquise, et les inconvénients s'évitent facilement, servait de guide de toute sûreté. C'était un des meilleurs arguments qui jus-

tifiait l'extension de cette solution aux besoins accrus de la population.

La décision s'est orientée en ce sens, surtout après que M. Dreyfuss, géologue, l'eut conseillée à l'exclusion de toute autre.

Après enquête, et avant de passer à l'exécution définitive, il donne plusieurs points de sondage pour l'établissement éventuel de puits. Deux d'abord en aval de la ville, l'un dans la prairie de Noidans, à la hauteur du village, vers la ligne de l'Est; l'autre entre le Durgeon et cette même ligne. Ces sondages n'ont pas été favorables, peu de graviers aquifères, beaucoup de limons et l'analyse révèle une eau très exagérément sulfatée et très ferrugineuse.

En amont de la Ville, à droite du Chemin Vicinal de Frotey, au delà du passage à niveau, au lieudit « Boyat », on pouvait peut-être espérer que l'eau serait peu ferrugineuse et n'exigerait pas de déferrisation. Il n'en est rien et si l'eau est de bonne qualité et son débit suffisant, la déferrisation sera nécessaire.

Toujours dans la prairie de Frotey, entre le puits existant et la ligne de Belfort, il y a un large terrain qui se prête très bien à l'établissement de plusieurs puits.

Un sondage, ou mieux un puits rapide pour pouvoir mesurer très exactement en période d'étiage, le débit et l'interférence avec le puits déjà existant, y a été pratiqué. Le débit est très suffisant et les analyses ont révélé une eau très pure au point de vue bactériologique, mais, comme on s'y attendait, fortement minéralisée et riche en fer.

L'endroit semble le plus favorable, car très rapproché

de la ville, tout en étant bien protégé, ainsi que des réservoirs. Pour faciliter la surveillance, on grouperait toutes les installations de refoulement et de déferrisation.

Nous donnerons le détail de la description de cette nouvelle installation.

Les nouveaux réservoirs. — Le même projet prévoyait aussi une amélioration à la distribution. L'extension continuelle du réseau sur des canalisations trop faibles par suite de la création de nouveaux quartiers, l'augmentation du nombre des concessions particulières faisait que pendant la période de gros débits, le puisage dans les quartiers bas était égal ou supérieur au débit de la conduite et que, par suite, l'eau n'arrivait plus ni aux quartiers hauts et éloignés, ni aux étages. De plus, les anciens réservoirs, à l'extrémité nord de la Ville, justement celle qui s'accroît très peu, desservaient seuls toute l'agglomération.

On voit tout de suite le gros inconvénient, non seulement pour les habitants privés d'eau aux heures de pointe, mais aussi pour le bon fonctionnement du service. Par suite du gros débit et de l'insuffisance de diamètre de la conduite, l'eau atteignait dans les canalisations une vitesse considérable et les installations supportaient des charges bien supérieures à celles admises ordinairement.

Un pareil état de choses ne pouvait durer et après avoir trouvé et amené de l'eau, il importait de la répartir au mieux.

On pouvait choisir entre deux solutions :

1° ou l'établissement d'une canalisation de gros diamètre qui s'étendrait du réservoir au carrefour du boulevard

de Besançon et qui viendrait renforcer la conduite principale existante. Mais en raison de la longueur des canalisations et aussi de la réfection des rues, cette solution a paru d'un prix de revient hors de proportion avec le but à atteindre ;

2° ou mieux construire un réservoir de compensation, à l'extrémité sud de la ville, point principal de son nouveau développement qui permettrait d'améliorer la distribution d'eau potable dans les quartiers éloignés, en même temps d'augmenter la réserve utile.

Cette dernière solution a prévalu.

On a donc construit sur le flanc de la colline de Cita, exactement au même niveau piézométrique que l'ancien réservoir, un nouveau réservoir de 1.500 m³.

En réalité, pour faciliter les nettoyages et les réparations, il y a deux compartiments en béton armé de forme cylindrique, à axe vertical, de 16 mètres de diamètre, permettent d'obtenir une hauteur utile de 3 m. 50.

Ces réservoirs sont complètement enterrés et suffisamment aérés. On y accède par une chambre de manœuvre où se trouvent les vannes et l'arrivée des canalisations.

Il importait de construire les deux réservoirs anciens et nouveaux au même niveau piézométrique et voici pourquoi :

En période normale, lorsque le débit des sources est suffisant, une partie de l'eau va d'abord dans le nouveau réservoir et l'autre partie dans l'ancien. Un système de flotteurs et de vannes réglables régularise les débits.

En période de sécheresse, au contraire, toute l'eau des

sources est alors absorbée par le réservoir neuf, tandis que l'ancien s'alimente uniquement par la station de pompage; au besoin même, en cas de trop grande insuffisance, on peut envoyer de l'eau de cet ancien réservoir dans le nouveau, la conduite d'amenée ayant double usage.

Les deux réservoirs font donc vase communiquant, ils restent en équilibre, le vide de l'un est automatiquement comblé par le surplus de l'autre.

Pour parer à l'insuffisance de certaines conduites et pour faciliter la distribution, on a renforcé les tuyaux dans tous les quartiers nouveaux très étendus du sud et plus spécialement, on a doublé la conduite du boulevard de Besançon.

DEUXIÈME PARTIE

MÉTHODES D'ANALYSES
ANALYSES CHIMIQUES
ANALYSES
BACTÉRIOLOGIQUES

MÉTHODE D'ANALYSES

ANALYSES CHIMIQUES

Après avoir déterminé une eau que l'on veut capter comme situation et comme quantité, il faudra procéder à son examen qualitatif pour s'assurer de sa potabilité.

Pendant très longtemps, cet examen simple et incomplet portait uniquement sur les qualités physiques, puis est venue l'étude de la composition chimique et maintenant on n'admet plus une eau pour distribution publique qu'après des analyses bactériologiques qui déterminent les contaminations éventuelles.

C'est à ce triple point de vue que nous avons étudié les eaux qui font l'objet de nos recherches.

PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS

Même pour l'analyse chimique, la prise d'échantillons exige certaines précautions qu'il faut observer avec soin.

Nous avons toujours employé des bouteilles de verre non colorées, lavées à l'acide sulfurique, puis à l'eau et enfin rincées avec de l'eau distillée. Pour certains dosages par-

ticulièrement délicats, nous employons de préférence des flacons Pyrex, bouchés émeri et remplis aussi complètement que possible. Bien entendu, et de toute façon, il faut prélever un échantillon moyen en évitant les impuretés accidentelles qui sont assez fréquentes, même dans les sources les mieux captées.

Plusieurs litres (5 à 6) sont nécessaires.

Pour toutes les raisons qui seront développées ultérieurement dans l'interprétation des résultats, une seule analyse, si complète soit-elle — même en envisageant que le point de vue chimique — est absolument insuffisante pour déterminer la minéralisation moyenne d'une eau. Aussi donc, nous avons répété les analyses tout au moins pour les sources et en période normale de débit et en période de crue.

Les conditions météorologiques, si grosses de conséquences dans le régime de nos sources issues de calcaires fissurés, ont été minutieusement notées : température extérieure, état de l'atmosphère le jour du prélèvement ainsi que les précédents, et enfin, débit des émergences.

Par ce qui précède et ce qui suivra, on pourra juger de l'importance que nous donnons à l'enquête hydrogéologique.

EXAMEN ORGANOLEPTIQUE ET PHYSIQUE DE L'EAU

Bien que sommaire, cet examen est intéressant à noter et peut déjà orienter les recherches chimiques vers des éléments particuliers.

COLORATION, LIMPIDITE OU TURBIDITE

En général, vues sous une petite épaisseur, les eaux qui nous intéressent sont incolores; exceptionnellement, elles deviennent jaunâtre ou vert jaunâtre. Les eaux des puits de la nappe alluviale renfermant une assez grande quantité de fer laissent déposer à l'air un précipite d'hydrate ferrique et leur coloration qui, au moment de la sortie des pompes est légèrement opalescente au bout de quelques heures, devient rougeâtre avec trouble et dépôt de précipité floconneux.

La limpidité a été déterminée par la méthode du turbidimètre préconisée dans le formulaire des hôpitaux militaires : Dans un tube de cristal de 1 mètre de hauteur et de 2 cm. de diamètre, fermé à sa base par un bouchon de caoutchouc blanc, portant une bande noire de 4 mm. de largeur, on verse l'eau jusqu'à ce qu'on ne puisse plus observer cette bande. Si on la voit jusqu'à une épaisseur de 0 m. 60, l'eau est limpide; elle est louche si elle disparaît entre 0 m. 30 et 0 m. 60; elle est trouble s'il faut moins de 0 m. 30.

ODEUR ET SAVEUR

L'odeur a été recherchée avec soin, car elle permet de reconnaître des substances volatiles que souvent l'analyse chimique fait à peine soupçonner. Pour caractériser donc l'odeur, nous agitions l'eau à plusieurs reprises dans un flacon en respirant profondément les gaz dégagés. Plus sûrement encore en chauffant l'eau au préalable à 50-60° et en appréciant également l'odeur.

Les bulletins d'analyses en général n'attachent pas beaucoup d'importance à la saveur, et pourtant, dans les distributions collectives, c'est un des caractères qui compte le plus.

On sait la véritable répugnance pour le moindre goût dans l'eau; des eaux même excellentes à tous les autres points de vue ne trouvent aucun succès par suite d'une saveur particulière.

Les eaux des sources que nous étudions, bien aérées, convenablement minéralisées, contenant une certaine proportion d'acide carbonique, sont très agréables au goût. Les eaux des puits de la nappe alluviale seraient moins agréables, beaucoup plus minéralisées, peu oxygénées, elles sont un peu lourdes et, forcément, la présence de fer laisse une saveur légèrement styptique. A ce point de vue avec la déferrisation, elles ne peuvent que gagner en qualité.

TEMPERATURE

Nous notons également au moment du prélèvement, avec un thermomètre aussi précis que possible, la température de l'eau à son émergence, et cela pour plusieurs raisons.

D'abord, moins l'amplitude des variations saisonnières d'une source est grande, plus la nappe est profonde, et moins il y a apport d'eau de surface et d'infiltrations rapides.

Diénert a même basé là-dessus une méthode de recherche de la quantité d'eau superficielle qui peut être appor-

tée. D'autre part on sait de quelle faveur jouissent les eaux fraîches.

Les eaux de nos sources et des puits sont assez constantes quant à ce dernier caractère.

TECHNIQUES EMPLOYÉES POUR LES ANALYSES

Les méthodes d'analyses chimiques des eaux, employées déjà depuis longtemps, ont fait l'objet de nombreuses recherches, et sont connues dans leurs moindres détails.

A défaut donc d'originalité, nous n'avons usé que des procédés les plus universellement admis, et si quelques-uns sont moins classiques, comme celui utilisé pour le dosage du fer ou de la magnésie, ils restent suffisamment éprouvés pour les considérer comme très sûrs.

Donc, dès l'arrivée au laboratoire et sitôt le prélèvement fait, ce qui d'ailleurs nous a été assez facile par suite de la proximité des sources, nous recherchions les éléments suivants après l'examen des caractères organoleptiques.

1° *Gaz dissous dans l'eau :*

Dosage de l'oxygène dissous, dosage du gaz carbonique, total combiné et libre.

2° *Eléments anormaux :*

Azote ammoniacal, azote nitreux, azote nitrique.

3° *Matières organiques :*

Dosage en milieu acide et en milieu alcalin.

4° *Eléments fixes :*

Résidu à 110°, *perte au rouge, degré hydrotimétrique,*

total et permanent, degré alcalimétrique, chlorures, phosphates, sulfates, silice, chaux, magnésie, fer et alumine, et en ce qui concerne les puits de la nappe alluviale, fer seul avant et après la déferrisation et également recherche du manganèse.

GAZ DISSOUS, OXYGENE DISSOUS

Le dosage de l'oxygène donne des indications importantes et sous les réserves que nous allons faire, permet de juger du degré de corruption de l'eau. On sait que l'eau dissout les gaz de l'air et reçoit également de l'oxygène par suite de la fonction chlorophylienne des algues et plantes vertes aquatiques; en revanche elle en cède aux matières organiques en voie d'oxydation, en sorte que l'oxygène peut diminuer et même totalement disparaître, ce qui est un indice de contamination.

Une eau normalement aérée contient 8 à 10 mm d'oxygène par litre.

Mais il faut retenir que dans les terrains réducteurs et dans les eaux profondes, comme c'est le cas des puits, l'oxygène disparaît presque complètement, ce qui ne veut pas dire pour autant que ces eaux soient suspectes.

Pour être exact, il faut d'abord opérer immédiatement après le prélèvement et surtout faire ce prélèvement au moyen de la burette spéciale qui se remplit complètement et évite l'absorption des gaz de l'air.

C'est le procédé de Mohr, modifié par Albert Lévy, qui est en général employé pour trouver l'oxygène dissous. Il repose sur la propriété qu'a le sulfate ferreux ammonia-

cal d'être oxydé par l'oxygène dissous dans l'eau, oxydation qui se fait très vite en solution alcaline et peu ou très lentement en solution acide; on dose l'excès de sulfate ferreux par le permanganate qui achève de l'oxyder jusqu'à persistance de la coloration rose. On se sert d'une pipette spéciale à deux robinets, très exactement jaugée; celle que nous avions mesurait 94 cm³ 59. Le *modus operandi* est décrit point par point dans tous les traités d'analyse d'eau, nous n'avons rien changé aux méthodes habituelles.

GAZ CARBONIQUE

L'acide carbonique qui joue un rôle des plus importants dans la nature peut se dissoudre très facilement dans l'eau; c'est grâce à lui que certains éléments comme le carbonate de chaux reste en dissolution; pour une cause quelconque, comme l'exposition à l'air, la chaleur, la diminution de pression, une partie de l'acide carbonique disparaît, il en résulte une précipitation des sels de chaux.

Le tuf que nous avons signalé au moment de l'étude géologique de nos sources et qui abonde aux environs des émergences n'a pas d'autre origine. Par ailleurs aussi nous avons étudié longuement son intervention dans la dissolution ou la précipitation du fer.

Il est donc intéressant de savoir combien les eaux peuvent en contenir.

Cet acide carbonique existe sous plusieurs formes; d'abord l'acide carbonique total, puis l'acide carbonique libre et demi-combiné et enfin l'acide carbonique complètement combiné.

Voici la technique employée :

1° Dosage.

Dosage du gaz carbonique dans l'eau. — Méthode à l'eau de Baryte :

1° Dosage de CO^2 libre + CO^2 semi-combiné.

Distiller 100 cc. d'eau dans un appareil en verre, recevoir le distillat dans 20 cc. d'eau de baryte saturée placée dans une fiole jaugée de 100 cc.; continuer l'opération jusqu'à ce qu'il ne reste plus que 25 cc. d'eau environ dans le ballon.

Compléter à 100 cc. avec de l'eau distillée. Agiter, filtrer, titrer 50 cc. du filtrat correspondant à 50 cc. d'eau avec de l'acide chlorhydrique N/10 en présence d'hélianthine.

Soit N' le nombre de cc. trouvé.

Titrer 10 cc. d'eau de baryte saturée avec HCL N/10 en présence d'hélianthine.

Soit N le nombre de cc. trouvé.

On a $(N - N') \times 2 \times 22 =$ CO^2 semi-combiné + CO^2 libre par litre d'eau, en milligrammes.

Au résidu trouble et froid de la distillation précédente, ajouter 75 cc. d'eau distillée bouillie et 1 gr. d'acide citrique.

Distiller comme précédemment.

Soit N'' le nombre de cc. trouvé.

On a $(N - N'') \times 2 \times 22 =$ CO^2 combiné par litre, en milligrammes.

La quantité de CO^2 semi-combiné est rigoureusement

identique à celle de CO^2 combiné, puisque au cours de l'ébullition du bicarbonate on a :

$$2\ CO3\ NaH = CO3H2 + CO3Na2.$$

Le dosage de CO^2 libre peut être important pour mesurer ce qu'on appelle l'agressivité de l'eau, mais cette agressivité est modérée par la teneur des eaux en cabonate calcaire, en chlorure et en nitrate.

RECHERCHE DES ELEMENTS ANORMAUX

L'azote peut se trouver dans les eaux, soit sous forme d'azote ammoniacal ou nitreux ou nitrique ou même encore d'azote organique. Sa présence, hormis les réserves que nous ferons, est souvent l'indice d'une contamination probable. Cet azote provient ou de l'atmosphère ou de la matière organique azotée que les eaux dissolvent après être tombées à la surface du sol, ou encore à la suite de la transformation de cette dernière par fermentation.

RECHERCHE ET DOSAGE DE L'AMMONIAQUE

L'ammoniaque ne se trouve en général que dans les eaux contaminées et en faible proportion.

Nous avons donné pour ce dosage la préférence à la méthode bien connue de Nessler.

Le réactif de Nessler qui est un iodomercurate de potassium donne, en présence de l'ammoniaque, de l'iodure de dimercure ammonium jaune. Le dosage se fait par méthode colorimétrique, soit au colorimètre, soit dans des tubes de

Nessler et par comparaison avec une solution titrée de Cl Az H^4 qui contient 100 mm. Az H^3 par litre. Avant le dosage nous précipitions les sels de chaux par 1 cm^3 de solution saturée de sel de Seignette.

En ce qui concerne les eaux des puits de la nappe alluviale, malgré l'élimination de l'excès de chaux comme il existe du fer en dose très appréciable, la potasse que contient le réactif de Nessler donne un précipité d'oxyde de fer qui gêne la coloration. Aussi nous opérions la recherche et le dosage de l'ammoniaque après avoir distillé dans un appareil d'Aubin 500 cm^3 d'eau additionnée de 5 gr. de magnésie calcinée.

La présence d'azote ammoniacal est d'un pronostic très défavorable quant à la pureté d'une eau. C'est le plus souvent l'indice de souillures par des matières d'origine animale et d'autant plus que le résidu fixe sera assez fort et les chlorures abondants.

Toutefois, une réserve s'impose, que nous ne perdons pas de vue dans l'interprétation des résultats des eaux de la nappe alluviale : à savoir que les eaux profondes, pauvres en oxygène et même les eaux circulant à travers des forages en fer laissent subsister l'ammoniaque sans pour autant être dangereuses.

AZOTE NITREUX

C'est également par une méthode colorimétrique bien connue, celle de Griess, que nous avons recherché et dosé les nitrites. On emploie deux solutions : la première, d'acide sulfanilique, la deuxième, de sulfate de naphtylamine et à 50 cm^3 d'eau à examiner contenue dans un tube

colorimétrique, nous ajoutions 1 cm³ de chacun des réactifs précédents.

En cas de réaction positive, une belle coloration rose se développe proportionnelle à la concentration et qui est comparée avec une solution de nitrate de soude titrée et traitée dans les mêmes conditions.

De tous les produits azotés, la présence des nitrites est l'indice le plus certain d'une pollution de l'eau. A part certains points que Diénert a parfaitement précisés, sa présence peut faire soupçonner une eau riche en matières organiques en voie d'oxydation; cet acide nitreux pouvant être regardé comme le produit intermédiaire de la transformation dans le sol de l'azote ammoniacal en acide nitrique, l'épuration serait seulement commencée mais non terminée.

AZOTE NITRIQUE

Cet azote nitrique peut se trouver, mais en faible quantité, dans les eaux potables, c'est le terme final de la transformation des matières organiques azotées. Concurremment avec une dose élevée et anormale de chlorure, de matières organiques, on est tout de suite amené à soupçonner soit une insuffisance de protection, soit une cause de contamination.

Pour le dosage, nous avons employé le procédé classique de Grandval et Lajoux et leur réactif sulfophéniqué. La coloration jaune obtenue après évaporation de l'eau et sa reprise par l'eau distillée légèrement ammoniacale est comparée dans le colorimètre avec une solution titrée de nitrate de potasse.

MATIERES ORGANIQUES

C'est ici un ensemble de substances fort complexes d'origine animale ou végétale qu'il est bien difficile de séparer et qu'on ne peut doser qu'en bloc.

La méthode la plus connue et en quelque sorte officielle tout au moins en France, c'est la méthode d'Albert Lévy, celle que nous avons employée. On évalue pour le permanganate de potasse la quantité nécessaire pour oxyder complètement les matières organiques. Le tout est de procéder minutieusement dans des conditions identiques avec les mêmes solutions de titre exactement connu. On oxyde donc à l'ébullition les matières organiques de 100, puis de 200 cm^3 d'eau; il se produit un précipité brun d'oxyde de manganèse. Pour déterminer le permanganate consommé, on décolore par un volume de solution ferreuse égal à celui de la solution permanganique, et l'on revient au virage rose par addition de solution de permanganate. Nous suivions très exactement les méthodes décrites dans les traités d'analyse et parfaitement déterminées.

Pour acquérir toute sa valeur le dosage doit être effectué en liqueur acide et en liqueur alcaline. Le permanganate, en effet, oxyde en liqueur alcaline des matières organiques d'origine animale (urée, acides aminées, acide hippurique) et très peu en milieu acide.

Le chiffre obtenu par le dosage en milieu acide devra donc être toujours supérieur ou égal à celui que fournit le dosage en milieu alcalin; dans le cas contraire, l'eau est suspecte d'être polluée par apports de déchets animaux.

On évalue la quantité de permanganate utilisée pour

détruire les matières organiques d'une eau d'après le poids en milligrammes d'oxygène qu'elles représentent

Ce n'est pas par elles-mêmes que les matières organiques sont dangereuses, mais elles sont absolument nécessaires pour le développement des germes, elles leur servent de véhicule et de bouillon de culture. Pendant longtemps ce fut un des principaux indices de contamination, avec plus de 2 millig. on rejetait une eau, mais les examens plus poussés au point de vue bactériologique ont fait passer ce test au second plan.

Mais il n'en reste pas moins vrai qu'à part des cas très spéciaux et qui demandent une enquête serrée, un taux de 2 à 3 millig. de matières organiques avec la présence d'un excès de chlorure ou de nitrite ou d'ammoniaque ou plus de 10 millig. de nitrate constitue un indice de souillure certain.

ELÉMENTS FIXES

RESIDU A 110°

Nous évaporions à sec, au bain-marie, dans une capsule de quartz, tarée 1 litre d'eau. Le résidu obtenu était desséché à l'étude à 110° pendant 2 heures. Par le procédé bien connu de la double pesée, nous déterminions exactement l'augmentation de poids de la capsule.

PERTE AU ROUGE

Ce résidu, nous l'incinérions au rouge sombre pour détruire les matières organiques et après obtention de cendres blanches et reconstitution des carbonates nous

pesions à nouveau. La différence de poids donne la perte au rouge.

DEGRE HYDROTIMETRIQUE TOTAL ET PERMANENT

C'est une des plus anciennes méthodes d'analyse chimique des eaux, elle permet de mesurer rapidement ce qu'on appelle la dureté de l'eau. Au point de vue hygiénique, elle ne semble plus avoir la valeur absolue qu'on lui attribuait autrefois, mais elle continue à être employée par l'industrie et on ne peut pas en manquer la détermination.

C'est bien entendu la méthode de Boutron et Boudet qui a été suivie.

On sait qu'elle est basée sur le fait que l'addition d'une teinture de savon à l'eau, fait mousser cette eau quand tous les sels calcaires et magnésiens ont été précipités. Un degré hydrotimétrique correspond à la précipitation de 0 gr. 1 de savon.

Nous déterminions la liqueur hydrotimétrique par rapport à une solution titrée de chlorure de baryum selon la technique exposée partout et bien connue.

En faisant bouillir un certain temps l'eau à examiner on chasse les gaz et l'acide carbonique, ce qui détermine la précipitation des carbonates alcalino-terreux. Après filtration on complète au volume primitif avec de l'eau distillée bouillie, on prend le degré comme précédemment et on obtient ce qu'on appelle le degré hydrotimétrique permanent qui renseigne sur la teneur de l'eau en sels solubles de calcium et de magnésium.

Pendant longtemps on a dit qu'une eau était pure entre 5 et 15°, potable entre 15 et 30°, médiocre au-dessus de 30° et mauvaise au-dessus de 100°.

Ces règles strictes se sont un peu élargies et il n'est pas rare de considérer comme très potable et même bonne une eau comme celle des puits de la nappe alluviale qui titre plus de 40°.

Le degré hydrotimétrique est intimement lié à la formation géologique du terrain dont les eaux sont issues, et souligne une fois de plus comme nous l'avons souvent répété, l'importance de cette enquête pour les conclusions à tirer.

L'ALCALINITE TOTALE

L'alcalinité totale correspond à la fois à celle des bicarbonates alcalino-terreux, des bicarbonates alcalins, des silicates et de l'ammoniaque libre. Cette détermination facile et rapide est utile pour savoir la composition chimique probable de l'eau examinée. Nous faisions le titrage avec une solution d'acide sulfurique N/28 en présence d'héliantine comme indicateur.

CHLORURES

Nous dosions les chlorures par la méthode bien au point et habituellement employée pour les eaux potables, la méthode de Mohr qui consiste à précipiter les chlorures par l'azotate d'argent en se servant du chromate de potasse comme indicateur.

Notre solution de sel d'argent était calculée de telle façon

que 1 cm³ correspondait à 1 millig. de Na Cl et comme en général les eaux envisagées étaient pauvres en Cl, nous concentrions 200 cm³ d'eau à 50 cm³ par évaporation.

Pour une plus grande sensibilité de réaction, la liqueur titrée était essayée sur une quantité pareille d'eau distillée jusqu'à apparition de la teinte rouge caractéristique. Le volume trouvé était déduit du premier.

On admet en général qu'un excès de chlorures est l'indice d'une pollution de l'eau par des infiltrations provenant de déjections animales; une eau potable ne devrait pas contenir plus de 40 mmg. de chlore. Mais en réalité, quand y a-t-il excès de chlorures? C'est ce que seule une étude approfondie du sol naturel peut nous faire dire. Quoi qu'il en soit, l'association d'une forte quantité de chlorures avec l'ammoniaque et les nitrites doit faire tenir une eau pour mauvaise.

PHOSPHATES

Nous pratiquions seulement l'essai qualitatif. Après évaporation de 500 cm³ d'eau additionnée d'acide nitrique jusqu'à 25 cm³, nous ajoutions alors quelques cm³ de réactif molybdique; une coloration jaune indique, le cas échéant, une réaction positive. Si les phosphates ne proviennent pas du sol, leur présence a une signification suspecte. Ils ne peuvent avoir d'autre origine que des substances animales ou des eaux résiduaires; s'ils passent, c'est qu'aucun obstacle ne s'oppose à l'arrivée des germes douteux, car contrairement aux nitrates, ils sont retenus énergiquement par le sol avec lequel ils sont en contact.

SULFATES

Seul le dosage en poids de l'acide sulfurique à l'état de sulfate de Baryte donne un résultat satisfaisant pour les eaux; c'est celui que nous avons utilisé en employant les précautions habituelles pour la filtration et la calcination du précipité.

Rien n'est plus variable que la teneur des eaux en sulfates, les diverses analyses que nous donnons en sont le plus bel exemple. En fonction du niveau géologique une certaine quantité de SO^3 n'est pas l'indice d'une contamination et tous les terrains de la région qui appartiennent au Trias et aussi au Lias regorgent de gypse, il n'est donc pas étonnant d'en trouver des doses appréciables dans les eaux des puits de la nappe alluviale.

Comme pour les chlorures on a pendant longtemps fixé dans leur teneur des limites assez étroites. Mais en réalité, des eaux contenant du chlorure de sodium et du sulfate de chaux, en proportions même élevées, sont potables, et peuvent s'utiliser sans crainte pour tous les usages domestiques. En ce qui concerne l'action du sulfate de chaux sur l'organisme, il résulte de recherches que le sulfate de chaux n'a absolument aucune action nocive et qu'il ne fait que traverser l'organisme pour s'éliminer complètement.

Au point de vue industriel, par exemple, les réserves restent différentes, les chaudières des machines s'accommodent mal des eaux sulfatées et l'élimination chimique s'impose.

FER ET ALUMINE

Le liquide filtré dont on a séparé la silice est additionné d'acide nitrique pour peroxyder le fer et porté à l'ébullition. Le fer et l'alumine sont alors précipités par de l'ammoniaque en présence de chlorhydrate d'ammoniaque. Le précipité est lavé, recueilli, desséché et pesé. On trouve ainsi la somme de l'alumine et de l'oxyde de fer contenus.

DOSAGE DU FER SEUL

Si l'on veut obtenir un dosage précis du fer, et le cas s'impose pour savoir la teneur exacte avant et après la déferrisation, la méthode choisie doit être assez rigoureuse; nous en avons donc recherché une qui donne toute satisfaction.

La séparation du fer d'avec l'alumine est longue et délicate. Les méthodes colorimétriques, assez rapides, convenablement maniées, donnent des précisions suffisantes mais ne peuvent s'appliquer qu'aux eaux contenant très peu de fer.

Voici en détail celle que nous avons suivie et qui est appliquée en particulier par les Laboratoires de Surveillance des Eaux de Paris.

Elle permet d'opérer directement sur l'eau, l'alumine reste en solution, grâce au citrate d'ammoniaque, le fer est alors précipité à l'état de sulfure et finalement dosé par pesée à l'état de Fe^2O^3.

DOSAGE PONDERAL DU FER DANS L'EAU
(à l'état de Fe^2O^3)

Solutions nécessaires :

1° Citrate d'ammoniaque. — 400 gr. d'acide citrique sont dissous dans le volume d'ammoniaque nécessaire pour faire 1.000 cm^3 de liqueur;

2° Sulfure d'ammonium;

3° Acide chlorhydrique au 1/10e.

Technique :

Concentrer 1.000 cm^3 d'eau à analyser au volume de 25 cm^3 environ en présence de 2 cm^3 d'acide chlorhydrique concentré, y ajouter 20 cm^3 de citrate d'NH^4 qui laisse l'alumine en solution et s'assurer que le milieu est bien alcalin, puis additionner le tout de 2 cm^3 de sulfure d'ammonium.

En présence de fer, il se forme un précipité noir de sulfure entraînant un peu de chaux (CO^3Ca) (1); dans ces conditions, l'alumine ne précipite pas.

On filtre, lave à l'eau additionnée de quelques gouttes de S $(NH^4)^2$; ce lavage terminé (2) dissoudre le précipité

---

(1) La carbonatation des liqueurs ammoniacales donne du CO^3 $(NH^4)^2$ qui précipite du CO^3Ca.

(2) Eviter l'oxydation à l'air du FeS ; pour cela maintenir le filtre plein de liqueur.

sur le filtre en chargeant celui-ci d'HCl au 1/10e chaud. On lave le filtre jusqu'à plus rien au NO^3Ag, concentre le filtrat et reprécipite au sulfure NH^4 après avoir neutralisé le filtrat par NH^3, sans ajouter cette fois de citrate d'NH^4.

Filtrer, laver dans les mêmes conditions que précédemment, sécher, calciner au rouge, le sulfure passe à l'état d'oxyde Fe^2O^3 que l'on pèse. (1 gr. de Fe^2O^3 = 0,35 de Fe).

RECHERCHE ET CARACTERISATION DU MANGANESE

Le manganèse accompagne presque toujours le fer et quand la teneur des eaux, en ce dernier métal est assez élevée, il y a lieu de supposer la présence de manganèse; c'est exactement le cas des eaux de la nappe alluviale.

Nous le caractérisons par la méthode de Marshall : on transforme les sels de manganèse en produits permanganiques par l'acide persulfurique, en présence d'azotate d'argent agissant comme catalyseur.

Dans un tube à essai, on introduit :

Eau à examiner.....	10 cm^3 ou +
Acide nitrique	1 $cm.^3$
Solution nitrate d'argent au 1/10e.....	2 cm^3
Persulfate de sodium.....	une trace.

On chauffe jusqu'à ce que tout l'oxygène dû à la décomposition de l'excès de persulfate soit dégagé. La coloration violette apparaît.

Nous avons rencontré le manganèse à l'état de traces dans l'eau des puits avant la déferrisation, mais par contre, les boues des déferriseurs en contiennent une certaine quantité.

CHAUX

C'est également une méthode pondérale que nous avons utilisée, en voici la technique :

A 200 cm³ de l'eau à analyser, additionnée de solution de chlorhydrate d'ammoniaque à 20 %, on ajoute en présence d'héliantine de l'HCl jusqu'à virage franchement rouge, puis on neutralise avec de l'ammoniaque, jusqu'à virage jaune.

On filtre s'il s'est produit un précipité de fer, et on revient au virage rouge avec HCl.

Dans un becher, on chauffe, et dès l'ébullition, on verse goutte à goutte de la solution d'oxalate d'ammoniaque à saturation jusqu'à ce qu'une goutte ne produise plus de précipité, à ce moment, on ajoute d'un seul coup 10 cm³ de cette solution et on laisse refroidir, vers 60° on verse alors dans le becher 10 cm³ d'ammoniaque afin de rendre insoluble l'oxalate de chaux formé. On laisse reposer douze heures et on décante sur un filtre Berzélius, on détache les cristaux adhérants aux parois du becher, on entraîne le précipité sur le filtre, on le lave ainsi que le becher avec la solution d'ammoniaque au 1/10e, on sèche à + 100°. Le filtre sec est brûlé dans une capsule tarée et on porte au rouge blanc, après refroidissement dans un

dessicateur, on pèse à l'état de chaux. On multiplie par 5 pour avoir le poids de la chaux contenue dans un litre de l'eau à analyser.

MAGNESIE

Le liquide de filtration du dosage de la chaux et dont celle-ci est séparée, comme il est dit précédemment, va servir pour le dosage de la magnésie.

Ici nous nous sommes servi d'une méthode un peu différente de celle utilisée habituellement. Elle est expliquée tout au long dans deux articles de Cattelain et Gromand parus dans le *Journal de Pharmacie et Chimie*, et préconisée par M. Guillerd, dans la Technique des procédés d'analyses employés par le Service de surveillance des Eaux de Paris.

Le principe de la réaction est le suivant :

L'ion Mg + + traité par l'O oxyquinoléine donnera en milieu ammoniacal un précipité insoluble d'O oxyquinoléate de magnésium beaucoup plus insoluble que le phosphate ammoniaco magnésien et très facile à recueillir et à peser.

Voici la technique :

La liqueur provenant du dosage de la chaux et concentrée à 50 cm^3 environ est additionnée de 10 cm^3 de chlorure d'ammonium et d'Ortho-oxyquinoléine en solution alcoolique à 1% en excès. (Le liquide doit prendre une coloration jaune très nette).

On ajoute ensuite 10 cm^3 d'ammoniaque et on porte juste à l'ébullition. Après un repos d'une ou deux heures, on filtre sur filtres équilibrés, on lave le précipité à l'eau ammoniacal au 1/10e, puis à l'alcool, on sèche à l'étuve à 105° et on pèse.

Le poids de précipité (p. multiplié par 0,116) donnera la quantité de magnésie dans la prise d'essai.

SILICE

Le dosage de la silice est fait sur le résidu sec, après avoir déterminé la perte au rouge. Elle est insolubilisée à plusieurs reprises par l'acide chlorhydrique et évaporation à sec; enfin filtrée, elle est desséchée et pesée.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DE L'ANALYSE CHIMIQUE

La minéralisation d'une eau forme un tout assez complexe qui peut varier dans le temps et les chiffres trouvés, aussi exacts qu'on puisse les supposer, n'ont qu'une valeur très relative. La moindre pratique des analyses d'eaux vous renseigne vite d'ailleurs à ce sujet. Cette valeur est bien relative puisque nous le répétons encore, elle est entièrement fonction du terrain parcouru par les eaux, il est donc très difficile d'assigner des limites étroites à la quantité de sels que doivent contenir les eaux de bonne qualité.

Ce qui, par contre, demeure très intéressant à connaître, c'est la constance de la composition d'une eau. Evidemment, si plusieurs analyses prélevées dans des conditions tout à fait différentes donnent des chiffres à peu près identiques, il y a déjà tout lieu de supposer une filtration sûre et, dans le cas contraire, un apport d'eau étrangère contaminée ou non. La constance du débit et la régularité de la température à l'émission seront aussi et souvent même un des meilleurs indices favorables.

Tous les éléments que nous avons isolés et dont nous avons donné la quantité, sont dissociés et réagissent les uns sur les autres; mais comment réagissent-ils? La réponse est malaisée à donner car il n'existe aucune méthode précise permettant d'établir comment ils sont combinés entre eux. Les règles que Frésénius avait trouvées et qui consistaient à supposer les corps groupés suivant leur affinité habituelle n'ont pas tenu devant une expérience plus approfondie.

On aurait plutôt tendance maintenant à séparer les éléments en ions positifs ou cations et négatifs anions puisque tout sel, acide ou base, dissous dans l'eau se dissocie plus ou moins en ions + ou — les acides et les métaux fournissant les ions H + et les bases et les métalloïdes les ions OH —.

Nous avons observé le conformisme habituel et nous avons exposé les résultats en oxydes (CaO — MgO) en anhydrides d'acides (CO^2 — SO^3 — SiO^2), hydracides ou sels ($NaCl$), peroxyde (Fe^2O^3 — Al^2O^3).

Au point de vue contamination, et les exemples qui vont suivre ne feront que confirmer cette proposition, l'analyse chimique ne peut pas suffire pour nous donner des certitudes. La présence où l'excès de certains éléments suffit souvent à nous ôter le moindre doute à ce sujet, mais leur absence ou leur taux moyen n'implique pas du tout le cas contraire.

En définitive, l'analyse chimique seule est insuffisante pour juger de la valeur d'une eau au point de vue alimentaire et il est absolument indispensable de la compléter par une analyse bactériologique qui permettra d'établir l'absence ou la présence de contamination.

A titre tout à fait indicatif, et en y attachant la valeur relative que nous avons dit, nous donnons les tables limites des eaux potables qui pendant longtemps ont servi de base d'appréciation.

A) COMITE CONSULTATIF D'HYGIENE PUBLIQUE EN FRANCE

	Eau très pure	Eau potable	Eau suspecte	Eau mauvaise
Chlore en Cl (1)	< 15	< 40	50 à 100	> 165
— en NaCl	< 27	< 66	85 à 165	> 165
Acide sulfurique en SO^3	2 à 5	5 à 30	> 30	> 50
— en SO^4Ca	3 à 8	5 à 50	> 50	> 85
Oxigène emprunté au permanganate (Alcalin)	< 1	< 2	2 à 3	> 4
Perte au rouge	< 15	< 40	40 à 70	> 100
Résidu à 110°	150	< 400	400 à 700	> 700
Degré hydrotimétrique total	5° à 15°	15° à 30°	> 30°	> 100°
Degré hydrotimétrique permanent	2° à 5°	5° à 12°	12° à 18°	> 20°

B) CONGRES INTERNATIONAL PHARMACEUTIQUE DE BRUXELLES (1)

	Eau potable
Matières organiques	< 2,5
Sels ammoniacaux	< 0,5
Azote albuminoïde	< 0,10
Résidu au rouge (sels minéraux)	500
Sulfate (en SO^3)	60
Chlore	8
Az^2O^5 (nitrates)	2
Oxyde alcalino-terreux (CaO + MgO)	200
SiO^2 (Silice)	30
Fer	3

ABSENCE TOTALE DE : Nitrites; H^2S, Sulfures, Sels métalliques autres que Fer, Alumine, Mg.

(1) Résultats exprimés en milligramme par litre.

C) FORMULAIRE DES HOPITAUX MILITAIRES

Le Formulaire des hôpitaux militaires classe les eaux en trois catégories : suspecte, bonne, mauvaise, d'après leur teneur en chlorures, à condition que ceux-ci ne soient pas d'origine géologique ou accidentelle.

1er CAS : 30 à 50 MILLIGRAMMES NaCl PAR LITRE :

a) Soit présence de nitrites ou de sels amoniacaux ..... } Eau suspecte.
Soit nitrates : 10 mg. AzO^3H..... }
Soit Oxygène : 2 mg..... }

b) Pas de nitrates..... }
Pas de nitrites..... } Eau bonne.
Pas d'AzH^3 ..... }

c) Oxygène : 3 mg..... }
Nitrates : 10 mg..... } Eau mauvaise.
Nitrites : avec ou sans AzH^3..... }

2e CAS : 50 à 60 MILLIGRAMMES NaCl PAR LITRE

Soit nitrites ..... }
Soit sels ammoniacaux avec ou sans traces de nitrites..... } Eau mauvaise.

3e CAS : 50 à 60 MILLIGRAMMES NaCl PAR LITRE :

a) Absence de nitrates..... }
Absence de nitrites..... } Eau suspecte.
Absence de sels ammoniacaux..... }
Oxygène 2 à 3 mg.....

b) Sels amoniacaux..... }
Nitrites ..... } Eau mauvaise.
> 10 mg. nitrates..... }

c) Oxygène 1 à 2 mg..... }
Absence de nitrites..... } Eau potable.
Absence de nitrates..... }
Absences de sels ammoniacaux.... }

ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE DE L'EAU

Ce que l'analyse chimique n'a pu nous donner ou ne nous livrer qu'imparfaitement, nous allons le demander à l'analyse bactériologique.

Par analyse bactériologique il faut s'entendre. Il ne peut être question en effet ni de déterminer, ni de numérer toutes les plastides bactériennes qui se peuvent rencontrer dans une eau, problème intéressant certes, mais uniquement de bactériologie pure, au reste, excessivement compliqué et long puisque dans l'eau se rencontrent une grande partie des espèces bactériennes connues.

De toutes ces espèces, beaucoup sont des espèces banales sans propriété nuisible et dont la présence au point de vue alimentaire de l'eau, si ce n'est leur grand nombre, ne donne aucun renseignement.

Et puis, qui nous dit encore que nous les isolerions toutes; il y en a certainement encore des inconnues ou des très difficilement identifiables par les moyens dont nous disposons.

Il faut donc s'en tenir uniquement au point de vue

valeur hygiénique et rechercher les espèces nettement pathogènes ou pouvant le devenir.

Ici, il est nécessaire de dire que souvent, même en cas de contamination évidente cette recherche se terminera par la négative. La plupart des bactéries pathogènes vivent très mal dans l'eau, mauvais milieu de culture pour elles. Quittant un organisme humain ou animal très riche en matières organiques, elles ne peuvent non seulement proliférer, mais vont en s'atténuant petit à petit, la concurrence vitale entre en jeu ainsi que l'effet toxique de certains électrolytes dissous.

C'est donc du côté des espèces qui sans être pathogènes peuvent le devenir ou encore ont des propriétés physiologiques à peu près identiques à celles des germes des maladies d'origine hydrique et facilement identifiables que nous allons nous tourner. Etant saprophytes et vivant concurremment avec elles, leur présence dans l'eau sera un indice de pollution plus ou moins lointain et de filtration et d'épuration imparfaites.

Nous avons donc limité nos recherches bactériologiques :

1° *A la numération et la spécification très générale des colonies sur plaque de gélatine et quelquefois gélose-gélatine;*

2° *Recherche des anaérobies;*

3° *La recherche, l'identification et la numération du coli-bacille;*

4° *La détermination globale de la contamination fécale.*

Eventuellement aussi, nous aurions caractérisé les espèces pathogènes.

PRÉLÈVEMENT DES ECHANTILLONS ET PRÉPARATION DES MILIEUX

Tous ceux qui ont fait des manipulations bactériologiques, savent à quoi s'en tenir sur le luxe de précautions dont il faut s'entourer pour les mener à bien.

Les prélèvements d'eau n'étant autre chose qu'une de ces manipulations, nous avons suivi aussi strictement que possible toutes les indications données dans les traités qui développent la question à fond.

Si pour l'analyse chimique, une seule analyse ne donne que des résultats incertains, pour l'analyse bactériologique, elle n'aura presque aucune valeur. Il faudra donc les multiplier et surtout ne jamais perdre de vue les conclusions de l'enquête hydrogéologique qui, en toute circonstance, devra guider l'opportunité du prélèvement, et tenir compte essentiellement des variations saisonnières et de celles du débit; en un mot, de tout ce qui pourra changer l'allure d'un point d'eau. Nous allons passer aux exemples dans un instant, et la meilleure illustration de nos dire sera donnée par l'étude que nous allons faire des sources.

La préparation des milieux de culture solides ou liquides est aussi un des points délicats de la bactériologie, il importe de suivre exactement les règles classiques et d'éviter tout ce qui troublerait leur composition. Leur alcalinité ou leur acidité en particulier est loin d'être indifférente, et ils devront toujours ajustés à un pH déterminé.

NUMÉRATION DES GERMES

Les divers ensemencements bactériologiques doivent être pratiqués sitôt le prélèvement fait. Miquel a parfaitement démontré que dans une eau même prélevée aseptiquement, abandonnée à une température qui dépasse quelques 10° et plus, il se produit une prolifération telle des germes que les résultats trouvés sont sans rapport aucun avec l'état initial. Si les ensemencements ne sont pas en train dans un temps très court, c'est dans la glace que les échantillons seront conservés ou transportés.

Les diverses manipulations que nous avons exécutées l'ont toujours été moins d'une heure après les prises d'essais.

Voici comment nous opérions pour la numération des germes aérobies. Dans deux boîtes de Pétri stérilisées, nous comptions dans l'une avec une pipette stérile contenant exactement 20 gouttes au cm³, deux gouttes de l'eau à analyser et dans l'autre cinq gouttes. Avec toutes les précautions habituelles nous versions dans chaque boîte le contenu d'un tube de gélatine nutritive préparée selon la formule classique et préalablement fondue. Nous mélangions aussi exactement que possible en évitant la formation de bulles, laissions refroidir et abandonnions les boîtes de préférence à l'obscurité, à la température du labofatoire. (18 — 20°. Si par hasard, comme au moment des crues, nous supposions une très forte contamination, nous faisions une dilution de l'eau au 1/10e en en versant 1 cm³,

dans 99 cm³ d'eau stérile, et nous opérions de la même façon avec cette solution au 1/10e.

Suivant le degré de contamination les premières colonies peuvent apparaître quelquefois au bout de 48, 72 heures, mais ordinairement au bout de quatre jours. Nous suivions tous les deux ou trois jours les résultats obtenus et notions chaque fois le nombre de colonies. La numération totale et définitive se faisait au bout de douze à quinze jours.

Etant donné le taux de dilution employé, il était facile de calculer le nombre de germes par cm³.

Quelquefois le développement des germes liquéfiants était tel qu'au bout de quelques jours seulement les plaques se trouvaient menacées d'un envahissement total. Nous pratiquions sans plus tarder alors la numération et multiplions le nombre trouvé par un coefficient arbitraire mais assez exact que Miquel a établi dans une table bien connue.

En général, pour la numération des germes, on se sert surtout dans les laboratoires français de la gélatine seule, mais aux Etats-Unis et dans certains pays tropicaux la gélatine est remplacée par la gélose qui se liquéfie à une température beaucoup plus élevée et peut être placée à l'étuve à 37°.

A titre de supplément, d'information, nous avons fait quelquefois des isolements sur un milieu mixte gélose-gélatine.

Avant de spécifier pour chaque point d'eau les bacté-

ries trouvées, nous les avons classées autant que possible pour chaque analyse dans les catégories suivantes :

Espèces liquéfiantes chromogènes.
— liquéfiantes non chromogènes,
— non liquéfiantes chromogènes,
— non liquéfiantes non chromogènes.
Moisissures.

Il y a utilité à connaître les variétés de liquéfiants; de même que certaines espèces chromogènes sont très utiles à déceler, car elles renseignent souvent sur la nature de l'eau.

Quant aux moisissures (champignons inférieurs) elles sont plutôt un indice de stagnation de l'eau, il convient donc de signaler les principales espèces trouvées; parmi les Mucors, Aspergillus, il y a en effet quelques espèces pathogènes.

Il en est de même du B. violaceus, du B. termo, des Proteus, M. Prodigiosus, B. Fluorescens putridus. Quelques autres espèces connues B. Mycoïdes, Penicillum glaucum, les Cladothrix vivent dans les premières couches du sol et font présumer par leur abondance que l'eau est peu profonde.

Toutes ces déterminations posent un délicat problème de bactériologie et sa solution demande une longue pratique de cette science; nous ne nous y sommes engagés que sur les conseils d'un guide très sûr.

Un nombre considérable de colonies liquéfiantes qui surtout envahissent dans un temps très court les plaques, aura nettement une signification péjorative. M. Bolla, notre confrère de Gray, a très bien exposé le mécanisme

et les causes de cette liquéfaction de la gélatine par certaines bactéries. Le phénomène serait dû au principal à une véritable action diastasique en quelque sorte catalytique, c'est-à-dire hors de proportion avec la quantité de diastase initiale et la matière transformée.

Quels résultats pratiques pouvons-nous retirer de la numération des germes?

Ils seront intéressants certes, mais non concluants. C'est l'évidence même qu'une eau très chargée de germes sera suspecte et que plus le filtre du sol sera meilleur, moins elle en contiendra.

Egalement si une eau qui, en un temps donné en renferme tant par cm^3, après une pluie abondante, voit le chiffre de ses germes s'augmenter, on sera en droit d'incriminer le mauvais pouvoir épurateur du sol qui peut laisser passer par la même occasion des espèces pathogènes.

Les tables classiques de Miquel donnent une basse d'appréciation intéressante et qui est généralement admise à condition bien entendu de ne pas s'en tenir à la lettre.

Eau	excessivement pure	de 0 à 10 bactéries par cm^3.
—	très pure	10 à 100 —
—	pure	100 à 1.000 —
—	médiocre	1.000 à 10.000 —
—	impure	10.000 à 100.000 —
—	très impure	100.000 et au delà.

La connaissance du sol aussi bien que la courbe des variations du nombre des germes trouvés sera absolument indispensable pour fixer l'appréciation. On peut estimer, en envisageant le cas qui nous concerne, qu'une eau qui

sort du sol calcaire avec 100 ou 200 germes par cm^3 sera moins suspecte qu'une eau de puits qui en renferme le même nombre.

RECHERCHE DES ANAÉROBIES

Les eaux pures ne contiennent pas d'anaérobies qui font partie de la flore intestinale et de celle des putréfactions.

Il convient de les rechercher surtout dans les eaux de puits et de rivière.

Pour les caractériser et les numérer, nous avons employé une méthode dérivée de celle de Vincent; la voici :

On utilise un milieu de culture gélatiné, glucosé et glycériné.

Faire fondre le milieu et ajouter au moment de l'ensemencement quelques gouttes de solution de sulfo-indigotate de soude.

Chaque tube contenant une dizaine de centimètres cubes de milieu de culture, reçoit : Occ. 1, Occ. 2, Occ 5, 1cc. et 2cc. de l'eau à analyser (au total 5 tubes par examen).

On incorpore l'eau au milieu de culture sans trop agiter, pour éviter les bulles d'air, et on aspire le contenu de chaque tube dans de longs tubes-pipettes (pipettes de Vignal) préparés et flambés à l'avance, d'un diamètre intérieur de 3 à 4 mm. et d'une longueur de 0 m. 50 environ. Ces tubes-pipettes sont ensuite scellés à leurs deux extrémités et posés sous un robinet d'eau froide pour solidifier la gélatine. On les maintient aux environs de 20°.

Après 3 à 6 jours, on peut compter les colonies anaé-

robies qui apparaissent sous forme de petites masses floconneuses ou granuleuses avec ou sans bulles de gaz, au milieu de la gélatine décolorée.

Les anaérobies facultatifs donnent des colonies ramassées, denses, opaques qui n'ont pas la physionomie caractéristique des anaérobies vrais. Ils ne doivent pas être compris dans la numération.

RECHERCHE DU COLI-BACILLE

C'est, d'après l'avis quasi-unanime des bactériologues, la clef de voûte de l'analyse des eaux et le test le plus important d'une contamination possible. C'est presque l'indice certain d'une souillure des eaux, provenant des matières fécales humaines ou animales répandues à la surface du sol et entraînées par les pluies à travers un mauvais terrain filtrant, et grâce aux fissures, failles, diaclases, entonnoirs, arrivant jusqu'aux émergences naturelles même très éloignées.

Devant la très grande difficulté de déceller les bacilles typhogènes, c'est à cet autre germe qu'on s'adresse pour démontrer l'existence d'une contamination d'origine intestinale.

Il n'est pas indifférent de fixer quelques-uns de ses caractères.

Hôte normal et vraisemblablement inoffensif de l'intestin de l'homme, il est excessivement répandu dans la nature. En réalité et comme de nombreux travaux très documentés l'ont démontré, il est assez polymorphe, c'est

bacilles coliformes que l'on devrait dire et non Bactérium Coli Commune qui n'est en réalité que le prototype de ce groupe. De celui-ci, Rochaix en donne la diagnose suivante :

Bacille à extrémités arrondies, petit bâtonnet de 2 à 3 μ de longueur, pourvu de cils, non sporulé, plus ou moins mobile, ne prenant pas le Gram, il est aérobie facultatif. Producteur d'Indol aux dépens du tryptophane des peptones, il fait fermenter les sucres, principalement le glucose et le lactose, avec production de gaz. Il ne liquéfie pas la gélatine, mais coagule le lait et fait virer au jaune canari le bouillon au rouge neutre. Il trouble rapidement le bouillon de peptone d'une manière uniforme puis en donnant un sédiment floconneux au bout d'un certain temps avec dégagement d'une forte odeur fécaloïde, il résiste très bien aux antiseptiques, principalement à l'acide phénique. Il cultive : sur gélatine, sur gélose lactosée tournesolée, avec apparition au bout de peu de temps d'une teinte rouge et fermentation du lactose, sur gélose maltosée, tournesolée (Bacilles bleus et rouges).

Les cultures sur gélatine artichaut donnent une coloration verte qui va en se fonçant. Le B. typhique ne donne pas, au contraire, de culture apparente.

Enfin, le phénomène de l'agglutination permet un procédé de diagnostic remarquablement précis pour l'identification du coli-bacille et des bacilles typhiques et paratyphiques.

Exceptionnellement, un de ces caractères indiqués peut manquer, mais, en général, ils restent assez constants pour une identification sûre.

IDENTIFICATION ET NUMÉRATION DU COLI-BACILLE

Ces méthodes sont nombreuses et forcément les résultats peuvent varier suivant celles que l'on adopte.

Il serait même à souhaiter que devant cette diversité et les inconvénients qui peuvent en résulter, les laboratoires qualifiés puissent s'entendre sur une unité de technique.

Quoi qu'il en soit, presque toutes sont basées sur le fait que le coli-bacille résiste très bien à température élevée et en milieu phéniqué. Là où les autres germes banaux de l'eau sont gênés ou arrêtés dans leur développement, comme en bouillon peptoné phéniqué à 40-41°, lui continue de proliférer rapidement.

L'excellente méthode du Professeur Vincent est tout entière basée sur cette propriété.

Celle que nous avons suivie n'en est qu'une variante. Préconisée par MM. Dienert et Guillerd, elle est employée au Laboratoire de Surveillance des Eaux de Paris.

La voici :

On se sert d'abord d'un bouillon peptoné-phéniqué double de formule :

Peptone physiologique	60 gr.
Na Cl.....	10 —
Eau	1.000 —

On le prépare comme le bouillon de peptone et on ajoute 2 gr. d'acide phénique.

Ce bouillon est réparti en petits ballons Pyrex, à raison de 50 cm³ par matras et stérilisé à 115° pendant 15 minutes.

Au contenu d'un de ces ballons on ajoute, aseptiquement bien entendu, 50 cm³ d'eau à examiner et après mélange on répartit en dix tubes stériles à raison de 10 cm³ par tube.

On les place alors à l'étuve à 40° pendant 48 heures.

Après ce temps d'incubation on sépare les tubes restés stériles des tubes ayant cultivé abondamment ou même légèrement. Ces derniers sont alors soumis à la réaction de l'Indol avec une solution de nitrite de soude sulfurique et de l'alcool amylique et la coloration devient proportionnelle à la teneur en Indol. On compte comme tenant du bacille-coli tout tube donnant une réaction positive au 1/200000e, réaction qui sera comparée à celle d'une solution d'Indol pur convenablement titrée et diluée et traitée dans les mêmes conditions.

Les coli-bacilles donnant des Indols égaux ou supérieurs à 1/50000e sont des germes frais d'origine récente; il s'est écoulé peu de temps entre leur émission et leur signalement dans l'eau analysée.

Par cette méthode la numération est aussi très simple. On admet si N tubes sur 10 ont donné une réaction positive chacun de ces tubes contenait au moins un germe de B-Coli. Si N = 6, il y avait 6 B-Coli dans 50 cm³ d'eau et par conséquent dans un litre $6 \times 20 = 120$.

Tout ceci est un procédé assez rapide et qui ne donne

que quelques-uns des caractères du B-Coli, il reste à compléter son identification.

Cette même opération, que nous avons fait sur 50 cm^3 de bouillon peptone phéniqué, nous pouvons la répéter dans des conditions identiques sur 50 cm^3 de bouillon lactosé avec répartition en 10 tubes également et incubation de 24 heures.

Le B. Coli attaquant le lactose avec dégagement de gaz, on considère comme contenant du B. Coli tout tube donnant un trouble avec dégagement de bulles gazeuses et mousse plus ou moins visible. Maintes fois nous avons répété les deux expériences et presque toujours nous avons remarqué leur parfaite concordance.

Pour pousser encore plus loin l'identification, avant la recherche de l'Indol, on aura prélevé une petite quantité de bouillon des tubes ayant cultivé. L'examen au microscope nous aura déjà montré des bacilles en général mobiles ne prenant pas le Gram.

On peut encore ensemencer, soit des boîtes de Petri contenant de la gelose lactosée, tournesolée que le B. Coli fait passer au rouge, en même temps qu'apparaissent des bulles gazeuses, soit des tubes spéciaux de Besson contenant un petit tube renversé formant cloche à gaz et rempli d'eau de viande glucosée additionnée de solution de rouge neutre. Après 15 heures d'ensemencement et d'étuve à 37°, en cas de B. Coli, on obtient une teinte rouge orangé et la cloche se remplit de gaz.

D'après son auteur, ce dernier tube permettrait de diag-

nostiquer rapidement et de différencier aussi le B. typhique, le parathyphique A et B et le bacille de Shyga.

Ces diverses réactions se complètent les unes les autres et positives ne laissent aucun doute sur l'origine coliforme des bacilles envisagés.

INTERPRETATION DE LA RECHERCHE DU B. COLI

Il est hors de doute que la présence du B. Coli dans une eau doit la faire considérer comme douteuse, mais cette affirmative demande en réalité quelques explications qui vont à la fois atténuer et renforcer sa valeur.

Pendant longtemps, on semblait être assez catégorique à ce sujet, et on rejetait comme suspecte toute eau qui renfermait du B. Coli, même de façon passagère et en petite quantité. Mais on s'est aperçu qu'en concluant ainsi on faisait preuve d'une sévérité qui ne s'accordait pas avec la pratique. On risquait de priver une région d'une eau qui n'avait jamais donné d'épidémies, on la condamnait à une épuration qui, mal faite, la rendait ou imbuvable, ou même encore plus dangereuse.

C'est entendu, une eau qui normalement, en toute saison, dans les diverses variations de débit, contient un assez grand nombre de B. Coli (plus d'une centaine par exemple) sera étiquetée, suspecte, et ne pourra être livrée à la consommation qu'après une épuration surveillée et efficace.

Mais en présence de quelques dizaines de bacilles coliformes, et cela d'une façon intermittente souvent, quelle conduite doit-on tenir?

Encore ici, c'est un cas d'appréciation qui ne peut s'autoriser qu'après un examen excessivement serré, soit du bassin d'alimentation et de son pouvoir de filtration d'une source, soit d'un périmètre de protection d'un puits ou autre point d'eau.

Il ne faut pas perdre de vue que le coli, par lui-même, est inoffensif, qu'il est très répandu dans la nature et, si, en raison de son polymorphisme, certaines varitétés semblent être plus virulentes que d'autres, il peut être absorbé impunément sans rendre l'organisme malade. Si, par exemple, l'analyse fait trouver quelques coli par litre et si les autres caractères bactériologiques et chimiques ne laissent pas planer la moindre suspicion, le fait reste banal et sans aucun caractère de gravité.

D'autant plus que l'on saura pertinemment que le terrain est sujet à caution quant à sa valeur d'épuration et qu'on se sera exactement renseigné sur les causes de pollution existante et celles à prévoir dans la suite.

Mais si un puits, par exemple, très bien protégé, donne pour une raison quelconque la même quantité de colibacilles, là, nous serons en droit de dire que la contamination est probable.

Une notion aussi très importante et qu'il ne faut pas ignorer, Dienert et Guillerd l'ont parfaitement d'ailleurs mise en évidence, c'est la notion de fraîcheur du germe. A ce point de vue, la réaction de l'Indol est tout à fait caractéristique, et plus les germes seront indologènes, moins il s'est écoulé de temps entre leur émission et leur

apparition dans l'eau analysée. Une eau ne serait vraiment suspecte que si elle renfermait des germes frais.

Comme pour la numération des colonies, on ne peut donner de tables mathématiques précises permettant d'apprécier une eau d'après sa teneur en coli-bacilles, et cependant celle de Vincent est tellement connue et consultée que nous ne pouvons la passer sous silence :

0	Coli par litre	eau pure.	
10 à 50	—	—	eau assez bonne.
50 à 100	—	—	eau médiocre à surveiller.
100 à 1.000	—	—	eau suspecte à surveiller.
1.000 à 10.000	—	—	eau mauvaise impropre.
10.000 et plus	—	—	eau très souillée impropre.

RÉSULTAT GLOBAL DES CONTAMINATIONS FÉCALES

C'est en quelque sorte un supplément d'informations venant compléter les deux autres.

Cette méthode très bien mise au point par Rochaix, dont nous avons suivi exactement la technique, et que notre confrère Brocard a parfaitement exposée dans sa thèse, est basée sur le fait que la réaction du rouge neutre est l'apanage des microbes des matières fécales, du purin, des fumiers qui ont la même signification que le coli-bacille au point de vue contamination de l'eau.

L'indice de cette contamination ne sera donc plus le

coli-bacille seul, mais l'ensemble des microbes faisant virer le rouge neutre.

Le rouge neutre qui est un chlorhydrate de diméthyl — amino — tolu — phénazine symétrique; sous l'action des réducteurs en solution alcaline, est transformé en son hydrobase donnant une coloration jaune serin par transparence, accompagnée d'une fluorescence verte par réflexion. L'action de réduction est en fonction de la fluorescence alors que le virage en jaune serin est sous la dépendance de l'alcalinite.

Il y a là une belle réaction très fréquente chez les colorants synthétiques et que l'on comprend mieux par le développement des formules. Quoi qu'il en soit, toute une série de microbes qui intéressent au plus haut point l'hygiéniste, agissent par réduction sur le bouillon au rouge neutre en produisant le virage caractéristique avec ces deux éléments fluorescence verte et jaune serin.

L'avantage de cette réaction c'est sa rapidité, car en 48 heures elle a donné toute sa mesure. Elle permet aussi l'emploi de doses croissantes d'eau et de bouillon et comme pour le B Coli de mesurer l'intensité de la contamination totale, elle s'impose lorsque les indices analytiques de l'eau examinée indiquent une contamination probable, et que le B. Coli est absent.

Les résultats de l'analyse bactériologique seule nous permettent-ils de conclure sur la valeur hygiénique d'une eau dans le présent et dans le futur? Non, assurément. Ces conclusions dont nous ne voulons pas un seul instant contester la valeur ne seront que bactériologiques. Ce sera à

l'hygiéniste de les interpréter en fonction des résultats chimiques et de l'expertise géologique. Et il y a des renseignements d'ordre épidémiologique, des notions sur l'infection du bassin d'alimentation et du périmètre de protection qui sont d'ordre spécifiquement hygiénique. Comme nous l'avons déjà dit, les trois enquêtes loin de s'opposer l'une à l'autre se complètent mutuellement et sont indispensables avec la multiplicité des analyses pour une opinion documentée.

TROISIÈME PARTIE

ETUDE DES POINTS D'EAU SERVANT A L'ALIMENTATION DE LA VILLE :

LA FONTAINE FERME DE NAVENNE
LA FONTAINE AU DIABLE A ECHENOZ
LES PUITS DE LA NAPPE ALLUVIALE DE FROTEY

FONTAINE FERME DE NAVENNE

La source ou plutôt les sources de la Fontaine Ferme de Navenne sont situées au sud de Vesoul, à l'extrémité d'une petite vallée entre les coteaux de Cita et d'Itac. Le principal réservoir de ces sources est à 2.840 mètres du réservoir de la ville, et la différence de niveau avec ce dernier est de 26 m. 60.

Le bassin hydrographique est formé par des hauteurs qui appartiennent au calcaire Bajocien reposant sur les marnes imperméables du Toarcien qui constituent une partie du flanc et du fond de la vallée. C'est au point de superposition de ces deux terrains que les sources apparaissent, mais à vrai dire les calcaires oolithiques et surtout les marnes liasiques sont recouvertes sur le flanc des coteaux par une masse assez importante d'éboulis et dans le Talweg s'est déposé une couche considérable de tuf formée par les sources elles-mêmes. Il s'en suit que les points d'émergence des sources ne sont pas exactement à leur niveau géologique et dans le fond de cette vallée on a à faire à plusieurs suintements et filets d'eau qui, réunis, forment les sources de la Fontaine Ferme, et plus bas le ruisseau de Graisse.

En somme la Fontaine Ferme résulte, comme le montre

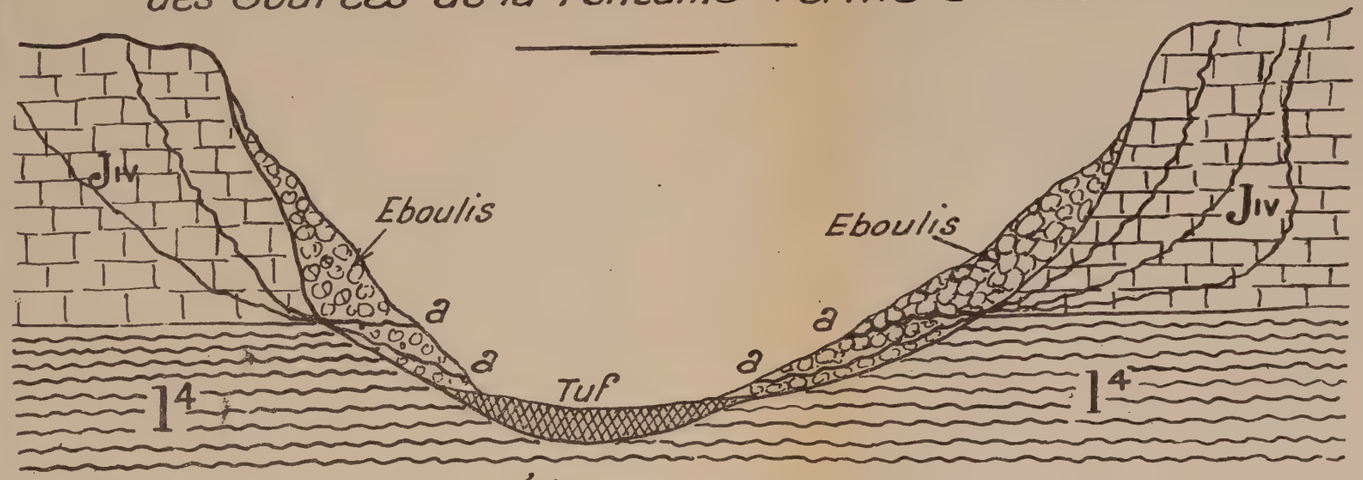
le croquis ci-joint, de la réunion de 7 sources ou 7 suintements principaux qui vont se rejoindre les uns dans un premier réservoir, c'est le plus ancien, les autres plus en aval dans des canaux de draînage ou dans le réservoir plus important qui rassemble toutes les eaux et les conduit à la Ville.

L'épaisseur du tuf est assez considérable. Un sondage pratiqué en 1907, au point M du plan, en a fait rencontrer une épaisseur de 8 mètres. La conclusion est facile à tirer et on peut prévoir que dans l'état actuel des captages qui ne vont pas jusqu'au niveau des marnes toarciennes, une grande partie des eaux se perd, s'infiltre dans le sol et c'est la raison pour laquelle le ruisseau de Graisse a un débit si élevé peu après ses origines.

C'est en définitive un type d'exsurgence dont la sortie se fait à travers des éboulis et du tuf.

Le bassin alimentaire de la source est assez considérable. Il est constitué par toutes les hauteurs d'Itac et de Cita et surtout de la Croix Cassini et du plateau de La Demie. Ce sont des formations, des divers étages du Bajocien et du Bathonien inférieur - *vésulien* - qui tient le sommet du plateau. Calcaires très fissurés, ils laissent passer les eaux sans les filtrer. Mais comme, heureusement, ce bassin est en majeure partie boisé et en tout cas inhabité, les causes de contamination sont réduites au minimum, d'autant plus encore que les effondrements, les gouffres, sont à peu près inexistants dans ce plateau. Les eaux n'ont aucun parcours superficiel de quelque importance. Il y aurait pourtant lieu de surveiller les suintements qui apparaissent près du réservoir. Souvent ils sont très superficiels et la proximité des cultures pourraient être une cause de con-

Coupe schématique
des Sources de la Fontaine-Ferme à Navenne



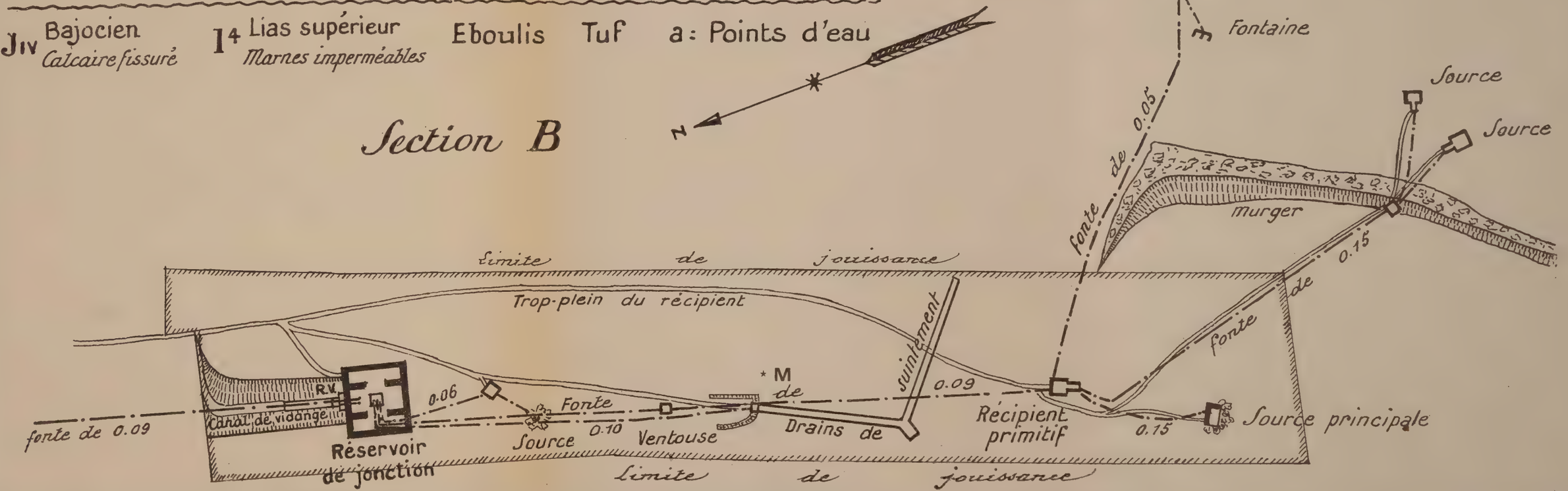
Jiv Bajocien *Calcaire fissuré*

l4 Lias supérieur *Marnes imperméables*

Eboulis Tuf a: Points d'eau

Ville de Vesoul — Alimentation en eau potable
Sources de la Fontaine-Ferme à Navenne
PLAN

Echelle de $\frac{1}{800}$



Section B

tamination. La Ville de Vesoul, à plusieurs reprises, pour parer à cet état de choses, a fait l'achat des terrains avoisinants des sources.

CAPTAGES

Les archives municipales et départementales sont assez rares en documents concernant les eaux.

Les premiers captages de la Fontaine Ferme datent de 1449, ainsi qu'en témoigne la date inscrite sur une pierre du plus ancien réservoir. Nous avons dit comment les eaux étaient conduites en ville et les fontaines qu'elles alimentaient.

En même temps d'ailleurs qu'elles arrivaient à Vesoul. les eaux du vallon faisaient tourner aussi le Moulin de Graisse et cette question avait intéressé en 1501 Philippe II, Roi d'Espagne, (à cette époque la Franche-Comté était encore espagnole) et même longtemps auparavant elle avait préoccupé Philippe duc de Bourgogne qui fut ensuite Roi de France sous le nom de Philippe VII le Long. Un document rapporte qu'après enquête faite « en l'aule et marchié à Vesoul », le duc concédait en 1389, au sieur Guérin, le droit de bâtir un moulin et d'utiliser l'eau des sources.

Mais les premiers captages de la Fontaine Ferme, faits alors très en amont, laissent, et pour toutes les raisons que nous avons données, perdre une grande partie des eaux. Le souci constant des diverses municipalités qui se sont succédé pendant la fin du XVIII[e] et la première moitié du XIX[e] siècle, sera de récupérer une partie de ces eaux et essayer de les faire arriver aux fontaines. A chaque ins-

tant, dans les archives municipales, nous voyons des délibérations au sujet des eaux de la Fontaine Ferme.

En 1793, des réparations sont faites au captage des sources et au bassin de la Fontaine Ferme.

En 1805, le réservoir est agrandi et réparé et on construit un canal de drainage en pierre de taille.

En 1823, dans l'acte intervenu entre la Ville de Vesoul et M. Daguenet, il est bien spécifié que la Ville ne prendra que ce que peut débiter un tuyau de 0,095 de diamètre intérieur et qu'aucun travail pour récupérer les eaux en aval de la source principale ne sera effectué.

En 1828, diverses réparations sont encore faites à la Fontaine Ferme. Il est construit un mur au réservoir, et ce dernier est recouvert de terre.

Toujours les raisons que nous avons données ont fait que, périodiquement, le Service des eaux a été obligé de faire des travaux pour récupérer les suintements qui se perdaient dans le tuf. On en a signalé au cours des années 1863, 74, 75, 76 et enfin 1905 et 1906, époque à laquelle il est fait l'acquisition des petites sources qui jaillissent dans les propriétés Billquey, Champagnol, Theurey et Richard, qu'on a réuni dans le réseau collecteur.

Plusieurs propositions avaient été faites d'établir des galeries draînantes en forme de V, allant jusqu'à la couche imperméable du Lias, mais cette suggestion n'a pas été retenue.

On peut dire qu'à l'heure actuelle les captages demeurent en assez bon état. Il est difficile d'entreprendre des travaux très onéreux dont la portée dépasserait le but à atteindre, soit pour recueillir d'autres suintements, qui en

temps de grande sécheresse ne donneraient pas d'eau, soit pour faire des galeries de drainage très coûteuses.

En somme, la Fontaine Ferme comprend 3 récipients :

Un réservoir d'emmagasinement, premier récipient qui reçoit les eaux de la Fontaine Ferme et de la Fontaine Billquey, un second récipient alimenté par les eaux d'un drainage, un troisième par un filet d'eau peu important.

Trois conduites distinctes sortent de ces récipients pour aboutir à la partie inférieure d'un réservoir d'une capacité approximative de 250 mètres cubes. De ce réservoir part la conduite d'amenée de 0.095 de diamètre intérieur.

En tout état de cause, les eaux de la Fontaine Ferme constituent, malgré leur insuffisance, un appoint assez intéressant pour l'alimentation de Vesoul et la continuelle sollicitude de ses habitants pour arriver à une plus abondante et plus certaine répartition de l'eau provenant de la Fontaine Ferme, prouve que cette eau est salubre.

DEBIT DE LA SOURCE

Il en est de la Fontaine Ferme comme de toutes les sources issues de terrains calcaires, perméables par fissuration, qui retiennent très mal les eaux, une inconstance et une irrégularité de débit et une très grande sensibilité aux variations des pluies.

D'après les jaugeages de la Fontaine Ferme faits en 1844, 1846, 1854, 1856, 1861, 1862 et 1863 dans les mois de mai, juillet, août, septembre et octobre, le débit des sources varie de 103 à 220 litres par minute. Il était en moyenne de 162 litres par minute. En 1884, 1893, 1906,

1921, 1934, années particulières de sécheresse, le débit est tombé à 80 et même 60 litres par minute, c'est-à-dire que c'est un appoint bien insuffisant.

En temps normal, la moyenne reste de 200 à 120 litres à la minute.

ANALYSES DES EAUX DE LA FONTAINE FERME

Dans les archives de la Ville, les analyses des eaux de la Fontaine Ferme sont très peu nombreuses et très incomplètes. Comme cette source a été utilisée depuis fort longtemps et que, somme toute, aucune épidémie d'origine hydrique n'avait été signalée dans la Ville, on s'en est tenu à l'expérience acquise sans pousser plus loin les investigations. Seuls les caractères organoleptiques suffisaient et on se contentait de dire que l'eau était salubre, qu'elle cuisait bien les légumes et dissolvait le savon. On reconnaissait toutefois qu'elle était un peu calcaire. Une analyse faite en 1845 par M. Delesse, ingénieur des Mines, donne pour l'eau de Navenne, la composition suivante :

Carbonate de chaux	0,1947
Chlorure de sodium et potasse	0,0046
— de calcium	0,0130
— d'aluminium et de fer	0,0010
Silice	0,0007
Matières organiques	traces
Total des substances fixes	0,2140

En 1864, M. d'Ambly, ingénieur des Mines, à Dijon,

dose les matières fixes contenues dans les eaux de Vesoul et trouve :

Extrait sec	0,214
Degré hydrotimétrique	20°

En somme, comme les peuples heureux, les eaux de Navenne n'ont pas d'histoire et on n'a pas éprouvé le besoin de chercher plus avant dans leur composition.

A la suite des sécheresses de 1933 et 34 le service départemental d'hygiène prescrit des examens bactériologiques qui donnent les résultats suivants :

Analyse du 22 décembre 1933, faite par le Laboratoire de surveillance des eaux de Paris

Analyse bactériologique :

Colonies non liquéfiantes	120
Colonies liquéfiantes	30
Coli bacilles	0
Bactéries putrides	0

Résultat satisfaisant pour les éléments cherchés, mais assez incomplet.

Analyse du 22 juin 1934, faite par le Laboratoire de surveillance des eaux de Paris

Température	10°
Colonies non liquéfiantes, par cm^3	30°
Colonies liquéfiantes	30°
Coli-bacilles	0°
Entérocoques	0°
Perfringens	0°
Producteurs d'H^2-S	100°
Bactéries putrides	0°

Conclusion : potable, à surveiller.

Analyses récentes des eaux de la Fontaine Ferme

La minéralisation et surtout les indices de contamination pouvant être en corrélation directe avec les variations de débit, il restait intéressant de procéder à une série d'analyses chimiques et bactériologiques qui, en s'inspirant de ces considérations détermineraient la valeur des eaux de la Fontaine Ferme.

Voici les analyses que nous avons effectuées :

Prélèvement du 26 octobre 1935

Ce prélèvement a été fait comme tous les autres d'ailleurs au premier réservoir amont qui reçoit la majeure partie des eaux, qui est très facile d'accès et permet la prise d'échantillons dans les meilleures conditions voulues.

Temps légèrement couvert, pas ou peu de pluie les 10 jours précédents, mais crue très importante au début du mois.

T° eau = 11°, t. ext. = 8°.

Débit de la source 150 à 180 litres minute. Eau limpide.

Analyse bactériologique :

Numération des germes :

Par cm³ : 20 moisissures.
— 10 colonies non liquéfiantes.
— 5 colonies liquéfiantes.

Recherche du coli-bacille : négative sur 50 cm³ d'eau.

Recherche de la contamination globale : négative sur 100 cm³.

Eau potable.

Prélèvement du 30 octobre 1935

Beau temps, mais les jours précédents pluie abondante ayant amené des crues importantes. Le débit de la source a beaucoup augmenté et dépasse 600 à 650 litres minute.

T° eau = 11°, t° ext. = 11°.

Eau à peine louche.

Analyse bactériologique :

Numération des germes :

Par cm³ : 200 moisissures.
— 10 colonies liquéfiantes.

Recherche du coli bacille : négative sur 50 cm³.

Recherche de la contamination totale : léger virage du bouillon au rouge neutre avec 100 cm³.

Léger indice de contamination par des eaux superficielles mal épurées.

Prélèvement du 8 novembre 1935

Temps très pluvieux ce jour ainsi que les précédents. Crues générales qui augmentent beaucoup le débit de la source, 750 à 800 litres minute.

T° eau = 11°, t° ext. = 7°.

Eau trouble.

Analyse bactériologique :

Numération des germes par cm³ :

250 colonies non liquéfiantes dont plusieurs chromogènes.
100 colonies liquéfiantes.
20 moisissures.

Recherche du coli bacille : 80 par litre.

Recherche de la contamination totale : sur 50 cm³, négative.

Eau suspecte, apport important d'eau superficielle.

Analyse chimique (1) :

Odeur	nulle
Saveur	nulle
Limpidité	eau très louche jaunâtre
Dépôt	Léger dépôt de matières terreuses
Oxygène dissous	10
Acide carbonique total	199
— libre et semi-combiné	101
— combiné	98
Azote ammoniacal	absence
— nitreux	absence
— nitrique	absence
Matières organiques : acide	0.2
— alcaline	0.25
Résidu fixe à 110°	250
Perte au rouge	18
Degré hydrotimétrique total	23.5
— permanent	6°
Alcalimétrie totale	138
Chlore en NaCl	6.2
Acide sulfurique en SO^3	3.5
Acide phosphorique	absence
Silice en SiO^3	3
Oxyde de fer et aluminium Al^2O^3 + Fe^2O^3	2
Chaux en CaO	125
Magnésie en MgO	9

Conclusion : Bien que les caractères organoleptiques de cette eau soient défectueux, l'analyse chimique relève une minéralisation normale et aucun indice de contamination.

Prélèvement du 19 février 1936

Beau temps légèrement couvert. Pas ou peu de pluie les 15 jours précédents. Le débit de la source, après des pluies assez importantes de la fin de l'an dernier au début de celle-ci, redevient normal (300 à 350 litres minute).

Eau limpide incolore. T° eau = 11°, t° ext. = 13°.

(1) Résultats exprimés en milligramme.

Analyse bactériologique :

Numération des germes par cm^3 :

Colonies non liquéfiantes	80
dont quelques-unes chromogènes.	
Moisissures	20

Recherche du coli bacille ..... sur 50 cm^3, négative

Recherche de la contamination totale: sur 100 cm^3 négative

Conclusion : Eau potable.

Analyse chimique (1) :

Odeur	nulle
Saveur	nulle
Limpidité	parfaite
Dépôt	nul
Oxygène dissous	10.9
Ph	6.9
Acide carbonique total	145
— libre et semi-combiné	66
— combiné	79
Azote ammoniacal	absence
— nitreux	absence
— nitrique	absence
Matières organiques : acide	0.3
— alcaline	0.3
Résidu fixe à 110°	262
Perte au rouge	11
Degré hydrotimétrique total	23°5
— permanent	6°5
Alcalimétrie totale	141
Chlore en NaCl	4
Acide sulfurique en SO^3	4.8
Acide phosphorique	absence
Silice en SiO^3	6
Oxyde de fer et d'aluminium $Al^2O^3+Fe^2O^3$.	2
Chaux	150
Magnésie en MgO	10

Conclusion : Eau potable de bonne minéralisation.

(1) Résultats exprimés en milligramme.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Incontestablement, les eaux de la Fontaine Ferme subissent le sort de toutes celles qui sont issues de terrains calcaires, elles restent entièrement sous la dépendance des conditions atmosphériques.

Rien dans la minéralisation, ni dans les indices chimiques de contamination ne laisse supposer de grandes variations entre la période normale et celle des crues.

Dans un cas comme dans l'autre, les produits azotés sont absents et le taux des matières organiques en milieu acide ou alcalin change très peu. L'apport d'eaux étrangères ne se fait pas par la surface, c'est seulement la filtration qui est très rapide et incomplète avec les pluies abondantes.

La minéralisation fixe change aussi peu que possible, pas de variation dans les chlorures, les sulfates, silice, fer, alumine, magnésie. Le taux d'acide carbonique vraisemblablement combiné à la chaux, toujours très important, semble plus inconstant.

Au point de vue bactériologique, si le manque d'homogénéité du filtre laisse toujours un peu à désirer, à n'en pas douter il y a contamination au moment des crues, contamination qui s'éteint avec le retour à la limpidité.

Cette contamination, toujours regrettable, très passagère, ne semble pas d'une gravité exceptionnelle. Cela

tient, nous le répétons, au bassin alimentaire des sources très boisé et inhabité. Si ces conditions venaient à changer, d'autres réserves seraient nécessaires.

Nos conclusions confirmeront la longue expérience acquise : les eaux de la Fontaine Ferme ont toutes les qualités voulues pour de bonnes eaux d'alimentation.

LA FONTAINE AU DIABLE

La Fontaine au Diable est également située au sud de Vesoul, comme la source de Solborde, aux Cotets, à l'extrémité du vallon encaissé d'Echenoz, sorte de reculée de bout du monde, comme on dit dans le pays, entre les coteaux de Solborde et de la Providence.

La source est à une distance de 5.200 mètres du réservoir de la Ville. Elle sort d'une fente de rocher constitué par les calcaires oolithiques ferrugineux du premier niveau du Bajocien et presque au contact des marnes toarciennes.

De toutes les nombreuses exsurgences qui apparaissent dans la région à ce niveau, c'est un des types les plus abondants et les plus remarquables.

Mais ses variations considérables et souvent brusques de débit la rendaient fort suspecte d'avoir un régime de résurgence, d'autant plus que sur le plateau situé à l'amont s'ouvrent les importants entonnoirs de Vellefaux. La question présentant de l'intérêt, il était important de l'élucider. Aussi, en juin 1910, le professeur Fournier tente une expérience de coloration. Une certaine quantité de fluorescéine a été déversée le 25 juin dans ces entonnoirs de Vellefaux; la coloration reparaissait aux sources de Filain, c'est-à-dire très au sud, le 27, à 4 heures du matin, et persistait

dans la nuit du 30. Aucune trace à la Fontaine au Diable. Comme il n'existe pas sur le plateau d'autres points d'absorption importants, on peut donc affirmer que le régime de la Fontaine au Diable est en majeure partie au moins un régime d'exsurgence.

Le bassin alimentaire de la source est assez considérable. Il comprend les vastes plateaux qui dominent Vesoul directement au sud, constitués par les divers étages des calcaires bajociens, surtout des calcaires à entroques qui, ici, forment un niveau des plus importants. Par endroits, et souvent sur le sommet du plateau, apparaissent des affleurements ou d'Argile à Chaille ou de Bathonien inférieur.

Les cultures, les pâtures et les bois alternent en proportion à peu près égale. Les villages sont rares et assez éloignés de la source et, somme toute, les causes de contamination ne sont pas particulièrement graves.

Il faut tout de même signaler que le plateau de la Providence, qui se trouve juste au-dessus de la source, est en majeure partie constitué par des terrains cultivés et qu'une ancienne carrière très à proximité également du point de déversement, malgré toutes les interdictions formulées, sert trop souvent encore de décharge.

Le niveau géologique étant sensiblement le même que la Fontaine Ferme, il s'en suivra de semblables variations de débit.

Les oscillations demeurent donc très sensibles. Peu avant le captage, des jaugeages répétés avec soin du 1er août au 1er novembre 1859, c'est-à-dire pendant trois

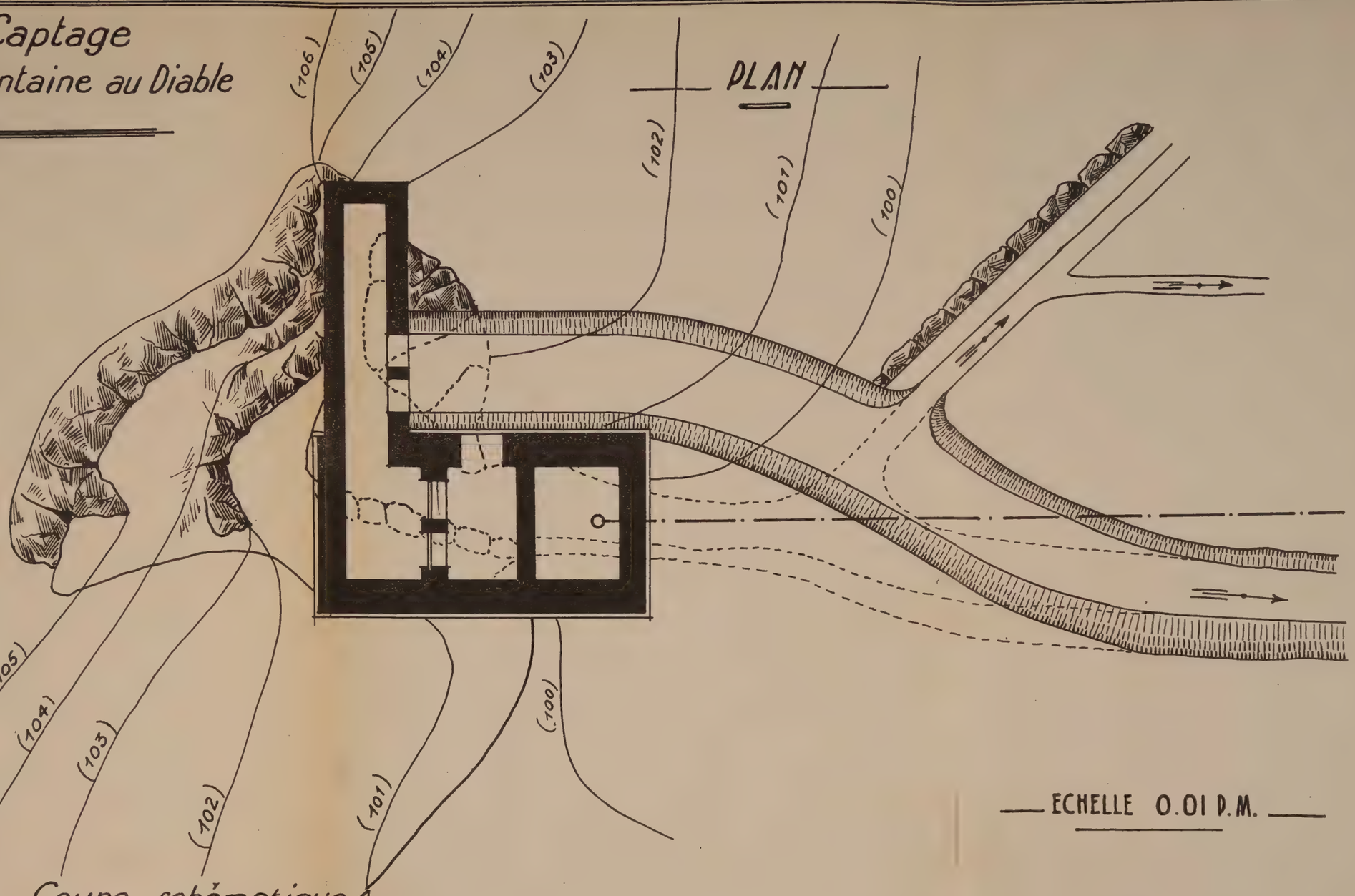
mois de la plus extrême sécheresse dont on conserve le souvenir, ont accusé le débit suivant :

Du 1er au 31 août.....	extrême sécheresse	564	litres minute.
Du 1er au 15 septembre.	extrême sécheresse	378	— —
Trois jours de pluie du 15 au 30 septembre		1.002	— —
Reprise de la sécheresse du 1er au 20 octobre		526	— —
Quelques jours de pluie du 20 au 31 octobre		1.038	- —
Mois pluvieux novembre 1859.....		6.000	— —
Temps ordinaire, mars 1860.....		4.080	— —

Des constatations faites dans deux années plus récentes ont démontré que certainement le débit moyen de la source diminuait. En 1921 et 1934, années particulièrement sèches, il était descendu à la période d'étiage à environ 300 litres par minute. Le débit moyen, en ces années, se maintient à 650 litres, mais en pleine période de crue, il va jusqu'à 6.000 litres. Ce sont donc des variations énormes.

Vers 1857, et les années suivantes caractérisées par de longues périodes de sécheresse, malgré toutes les améliorations faites à la Fontaine Ferme, le service des eaux à Vesoul fonctionnait très défectueusement; beaucoup de fontaines manquaient d'eau, si peu que la sécheresse se prolonge, et il était impossible de répondre à la demande de concessions nouvelles. La Ville prend aussi un essor assez considérable, par suite de l'établissement de la ligne Paris-Belfort, et sous l'impulsion d'un maire énergique, M. Frin, qui a, à son actif, des réalisations très substan-

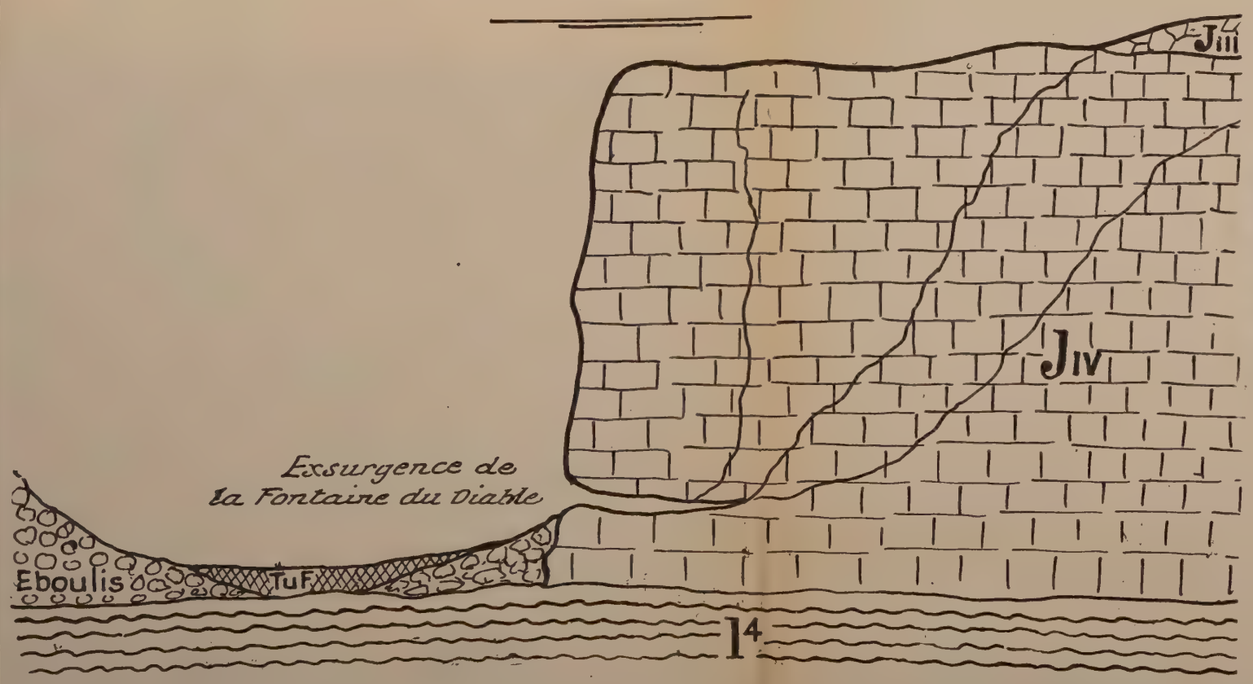
Captage de la Fontaine au Diable



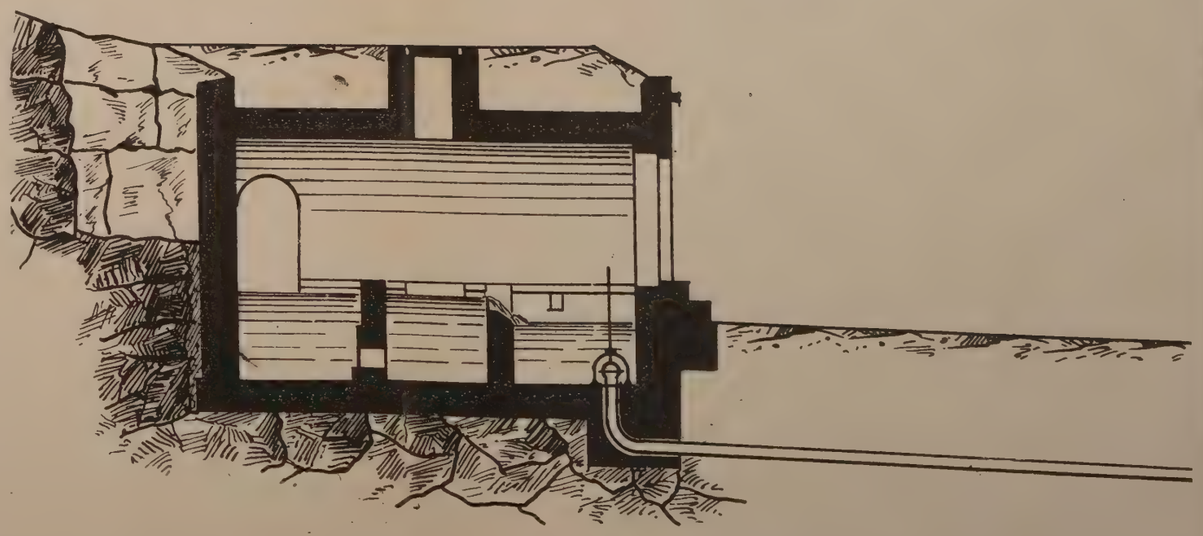
PLAN

ECHELLE 0.01 P.M.

Coupe schématique de la Fontaine du Diable à Echenoz



COUPE



tielles et très heureuses, la municipalité décide d'acquérir la source de la Fontaine au Diable qui présente toutes les garanties de pureté et de quantité désirables.

En novembre 1859, M. Bressard, Docteur en Médecine, cède à la Ville de Vesoul environ 4 hectares de terrain, les deux Moulins des Cotets et la source de la Fontaine au Diable pour la somme de 23.000 francs. La source est estimée à 15.000 francs.

En 1860, la Ville décide le captage et l'amenée des eaux de cette source à Vesoul, et confie à M. Chenot, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, le projet des travaux. Le projet de M. Chenot était établi d'une façon tout à fait remarquable, si bien même que depuis plus de 75 ans les travaux du début sont toujours utilisés et qu'à part quelques réfections de détail, il a subi jusqu'à ce jour peu de transformations.

Le projet est ainsi conçu :

La source sera recueillie à sa sortie du rocher dans un bassin de prise d'eau muni d'un déversoir de décharge et d'un appareil de jaugeage alimentant une conduite en fonte de 5.120 mètres de long et de 0,135 de diamètre allant déboucher librement dans le réservoir du séminaire. Le réservoir de la source étant à la cote de 289 et celui de la Ville à la cote de 247, la différence de niveau est donc de 42 mètres, ce qui permet largement l'arrivée des eaux par simple gravitation.

La conduite actuelle débouchera au sommet du Boulevard de Besançon dans une marmite en fonte et placée dans un regard. Les eaux de Navenne seront alors réunies,

et de cette marmite part une conduite unique de 0 m. 175 de diamètre qui traverse la Ville par ses artères principales et aboutit dans l'ancien réservoir du séminaire sans qu'il soit fait aucune prise d'eau sur cette dernière conduite. L'ensemble de la canalisation constitue une conduite composée dont le débit maximum est de 1.361 litres par minute ou 1.960 mètres cubes par jour. Rien ne sera changé au système de canalisation intérieur dont l'alimentation sera obtenue au moyen d'une prise d'eau unique et directe faite au réservoir du séminaire, par la conduite de 0 m. 095 qui existe aujourd'hui et qui se ramifie dans tous les quartiers et fournit l'eau à toutes les fontaines.

En définitive, le projet de Chenot prévoit, pour éviter les coups de bélier, les irrégularités de distribution et aussi pour constituer une réserve d'eau suffisante, l'arrivée de toutes les eaux dans un réservoir, et de là la répartition dans toute la ville.

Le projet donne un tracé minutieux de la conduite qui sera à 1 m. 30 environ de profondeur et en tuyaux de fonte Lavril.

M. Chenot envisage aussi dans son projet de construire, à côté du réservoir existant de 340 mètres cubes, un autre réservoir de 240 mètres cubes, pour assurer l'eau pendant deux jours au moins à la Ville et permettre, le cas échéant, les réparations nécessaires. Mais ce n'est que beaucoup plus tard que ce réservoir sera construit.

L'ensemble des travaux est adopté par le Conseil Municipal, le 14 août 1860, et son exécution immédiatement commencée. Il se montait à 112.000 francs.

Le projet d'amenée d'eau de la source de la Fontaine au

Diable à Vesoul ne va pas, évidemment, sans une assez vive opposition des habitants d'Echenoz.

Les archives de la Ville contiennent un volumineux dossier de plaintes qui faillirent même bien compromettre la réalisation du projet. Heureusement, le maire énergique qu'était M. Frin ne se laissa pas émouvoir outre mesure. Il fit déclarer le projet d'utilité publique et la procédure d'expropriation entra en jeu.

C'est qu'en effet, la Fontaine au Diable alimentait à cette époque, concurremment avec le ruisseau de Solborde, de nombreux moulins. Huit meuniers d'Echenoz déclarent que les eaux de la Fontaine au Diable sont indispensables au roulement des moulins. « La Ville de Vesoul, disent-ils, n'a pas besoin de cette eau. Mais le but poursuivi est de vendre aux personnes aisées cette eau. La commune d'Echenoz appuie les motifs invoqués par les meuniers et craint que le ruisseau, en été, soit à sec, et partant une cause d'insalubrité. »

A ces arguments, l'enquête répond justement que le projet se justifie amplement pour Vesoul, car depuis plusieurs années, pendant les mois de chaleur, le service des bornes fontaines intérieures de la ville est interrompu dès le matin jusqu'à 4 heures après-midi, et pendant ce laps de temps les habitants manquent d'eau.

Au surplus, les eaux de la Fontaine au Diable ne représentent que le quart environ, les 16/64 exactement des eaux du ruisseau et, par ailleurs, les habitants disposent de 246 litres par tête et par jour. Aucune commune de la Haute-Saône n'est si bien fournie.

Malgré ces arguments solides, sur 17 habitants d'Eche-

noz intéressés par le projet d'expropriation, un seul donne son adhésion et les autres, au nombre de 16, s'y opposent. Il faut exproprier des champs dont la valeur atteint à peine quelques francs.

Si nous avons cru devoir un peu insister sur ces détails de procédure, c'est pour en tirer la conclusion que les meilleurs projets reçoivent souvent des critiques injustifiées et qu'il vaut mieux, en définitive, passer outre.

Les travaux d'établissement de la conduite, retardés par toute cette procédure d'enquête et d'expropriation, durèrent 4 ans, et c'est en 1864 seulement que l'arrivée de la source se fait définitivement au réservoir. La population étant à cette époque de 7.000 habitants, la moyenne dont chacun peut disposer, est de 154 litres par jour. Peu de villes en France avaient alors un approvisionnement aussi considérable.

QUALITÉ DE L'EAU

Déjà à cette époque on ne se contentait plus des caractères physiques de l'eau de source, de savoir si elle était seulement salubre et agréable. on commence à trouver dans les archives des analyses chimiques. La première analyse a été faite par M. Tondeur, professeur au Lycée, qui, en 1859, après examen conclut :

Une eau est potable lorsqu'elle est bien aérée, qu'elle ne contient qu'une petite quantité de sels terreux et alcalins et qu'elle ne renferme pas, en dissolution, de matières organiques en quantité sensible. C'est le cas de l'eau de la Fontaine au Diable qui contient peu de matières organiques, des traces de chlorures et de sulfates, mais présente

en quantité considérable du bicarbonate de chaux. Donc eau potable, mais pas de première qualité; on peut l'employer mais en l'aérant suffisamment.

M. Descos, ingénieur des Mines, est chargé un peu plus tard de l'analyse de l'eau et trouve :

Analyse de M. Descos

Principes solubles dans l'eau, résidu après évaporation de 1 litre d'eau et légèrement porté au rouge : 0,273.

Résidu entièrement soluble dans l'acide chlorhydrique. Pas de trace de magnésie, pas de trace de sulfates, pas de chlorures, présence d'un peu de phosphate de chaux provenant peut-être un peu du test des coquilles fossilles contenues dans les calcaires traversés par les eaux de la Fontaine au Diable.

En résumé :

Carbonate de chaux	0,223
Phosphate de chaux	0,050
	0,273

En 1866, c'est-à-dire peu de temps après l'amenée des eaux de la Fontaine au Diable au réservoir de la Ville, des plaintes plus ou moins fondées vinrent à surgir sur la qualité de ces nouvelles venues, qui, à la moindre averse, se troublent rapidement, se chargent de matières terreuses et jaunâtres. On trouvait aussi que leur saveur était moins agréable que celle des eaux de Navenne. Le Conseil d'alors

décide une troisième analyse confiée à M. d'Ambly, ingénieur en chef des mines de la Côte-d'Or, qui conclut que les eaux d'Echenoz, comme toutes celles du vallon de Vesoul, doivent être considérées comme très pures, très salubres et propres à tous les usages domestiques. M. d'Ambly constate également que plus on s'écarte de la source, plus le dépôt de tuf est abondant. De l'eau mise dans un flacon en verre blanc laisse adhérent aux parois du vase une multitude de cristaux ténus et brillants. Un gramme d'eau évaporée laisse pour résidu une pellicule blanche adhérent au fond du récipient dont le poids est de 240 milligrammes constitués en majeure partie par du carbonate de chaux.

En 1878, une partie importante de la source glisse d'environ 1 mètre, on la capte à son nouveau point d'émergement pour l'amener dans les conduites maîtresses à cent mètres environ de l'origine. Le raccordement a été exécuté avec des tuyaux en ciment interrompus par des regards de visite.

Ce que nous avons dit du point d'émergence de la Fontaine au Diable, qui sort d'une fissure de calcaire à peu de distance, mais pas au contact des marnes du Lias, fait qu'inévitablement, à chaque crue, le courant use le lit rocheux assez friable dans lequel il s'était creusé une issue en entraînant pas mal d'alluvions dans les points bas.

Il se fait en réalité un nouveau lit inférieur qui, à la longue, subira le sort du premier, et la source descendra d'un banc de rocher à l'autre en suivant les hasards de la stratification jusqu'au moment où elle rencontrera les marnes imperméables, son véritable niveau de base.

Presque périodiquement, on a été obligé d'améliorer le captage pour reprendre et récupérer le filet d'eau.

En 1905, des travaux importants ont été entrepris. On constate, en effet, à cette époque, que la source a en grande partie quitté le lit d'émergence où elle avait été captée en 1863 et que cet ancien lit ne donnait de l'eau que lorsque resséré dans son chenal inférieur, il condamnait l'orifice supérieur à faire office de trop-plein.

Des fouilles furent établies pour retrouver le lit inférieur qu'on rencontre à 1 m. 20 plus bas que l'orifice de l'ancien captage.

On exécute alors des travaux nécessaires pour colmater les pertes et par la même occasion on répare également le captage de la source Loquinaire qui venait se déverser dans la conduite maîtresse un peu plus en aval.

Cette source Loquinaire, dont nous avons déjà parlé, se trouve un peu à gauche de la Fontaine au Diable, sous le chemin des Cotets à la Providence; elle est complètement abandonnée maintenant, car le professeur Fournier a conclu à une contamination de ses eaux par les fermes de la Providence, immédiatement au-dessus.

A l'heure actuelle les captages de la Fontaine au Diable sont restés, à part les réserves précitées, comme l'auteur du projet les avait conçus.

Les dessins ci-joints, tirés des plans originaux, donneront les plus amples explications voulues, toujours en bon état, ils ne demandent qu'un peu d'entretien.

Il est digne de remarque, toutefois, que le débit de la source semble baisser assez régulièrement et assez sensiblement. Ce phénomène est général d'ailleurs et le profes-

seur Fournier que l'on cite toujours dès qu'il s'agit d'hydrologie locale, le signale pour de nombreuses sources de la région.

A cet égard, la tranchée de la ligne des C. F. V., située un peu à gauche et au-dessus de la source, n'est certainement pas sans influence sur le régime des eaux.

Les considérations générales que nous avons émises sur les eaux issues des calcaires fissurés et celles particulières pour la Fontaine Ferme peuvent s'appliquer point par point à la Fontaine au Diable : grosses variations de débit avec les pluies abondantes et apport d'eaux incomplètement épurées.

Jusqu'ici aucune étude approfondie n'avait été établie de cette source. Les quelques prélèvements, dont les résultats se retrouvent aux archives, sont généralement faits en ville aux robinets de distribution, mais il y a déjà mélange d'eaux.

Voici pourtant deux examens bactériologiques assez récents d'échantillons prélevés au premier déversoir du captage.

Analyse du 22 décembre 1933

par le Laboratoire de surveillance des eaux de Paris

Colonies non liquéfiantes	30
— liquéfiantes	20
Coli-bacilles	0
Entérocoques	0
Perfringens	0
Bactéries putrides	présence

En somme, résultat satisfaisant pour les éléments cherchés, mais assez incomplet.

Analyse du 22 juin 1934

par le Laboratoire de surveillance des eaux de Paris

Température	10°
Colonies non liquéfiantes : germes par cm³	180
— liquéfiantes	20
Coli bacilles	0
Entérocoques	140
Perfringens	0
Producteurs d'H^2S	40
Bactéries putrides	0
Anaérobies	0

Potable, à surveiller.

Analyses récentes des eaux de la Fontaine au Diable

Nous avons donc procédé à des analyses systématiques dans toutes les périodes de variation de débit. En voici les résultats :

Prélèvement du 4 octobre 1935

Pluies très abondantes les cinq jours précédents succédant à une longue période de sécheresse de plusieurs mois. Le débit de la source était tombé à 250 litres minute et passe brusquement à plus de 4.000 litres.

T° eau = 11°, t. ext. = 13°.

Eau jaunâtre, très trouble, laissant déposer des matières terreuses.

Analyse bactériologique :

Numération des germes par cm³ :

Plus de 10.000 colonies dont beaucoup de liquéfiants, après cinq jours la gélatine est complètement liquéfiée.

Recherche du coli-bacille : 200 coli environ par litre.

Recherche de la contamination globale : positive avec 2 cm³ de bouillon au rouge neutre, soit plus de 500 germes de contamination par litre.

Eau mauvaise.

Prélèvement du 6 octobre 1935

Beau temps légèrement couvert, la pluie a cessé depuis la veille. Le débit de la source baisse un peu et se maintient toujours à 3.000 litres.

T° eau = 11°, t° ext. = 15°.

Eau encore très louche.

Analyse bactériologique :

Numération des germes par cm^3 :

4.000 colonies environ dont beaucoup de liquéfiants.

Recherche du coli-bacille : 150 coli par litre.

Recherche de la contamination globale : positive avec 20 cm^3, soit environ 50 germes par litre.

Eau très suspecte.

Prélèvement du 8 octobre 1935

(Analyse effectuée par le Laboratoire départemental de Bactériologie de Besançon)

Analyse quantitative : La numération des colonies sur gélatine a donné 3.600 colonies au cm^3 (nombreuses espèces liquéfiantes).

Analyse qualitative : La recherche des espèces pathogènes et en particulier des espèces du groupe du coli-bacille à décelé la présence de ce bacille dans la proportion moyenne de 100 coli-bacilles par litre.

Présence, en outre, de bactéries liquéfiantes (bacillus fluorescens liquefaciens et bacillus prodigiosus).

Conclusion : Eau très suspecte au point de vue bactériologique.

Prélèvement du 10 octobre 1935

Temps un peu pluvieux, légèrement couvert.

T° eau = 11°, t° ext. = 16°.

Débit : 1.500 à 1.800 litres minute.

Eau légèrement louche.

Analyse bactériologique :

Numération des germes par cm^3 :

1.700 colonies dont 250 liquéfiantes.

Recherche du coli-bacille : 60 coli par litre.

Recherche de la contamination globale : positive avec 50 cm^3, soit 20 germes par litre.

Eau suspecte.

Prélèvement du 18 octobre 1935

La crue du début du mois a complètement cessé, le régime est devenu normal avec un débit de 1.000 litres.

T° eau = 11°, t. ext. = 13°.

Analyse bactériologique :

Numération des germes par cm^3 :

100 colonies.
4 moisissures.
20 liquéfiants.

Recherche du coli-bacille : 10 coli par litre.

Recherche de la contamination globale : positive avec 50 cm^3, soit 20 germes par litre.

Eau potable à surveiller.

Prélèvement du 10 novembre 1935

Pluies abondantes les jours précédents ayant déterminé une nouvelle crue importante. Temps pluvieux. Débit : 2.000 à 2.500 litres minute.

T° eau = 11°, t. ext. = 10°.

Eau trouble.

Analyse bactériologique :

Numération des germes par cm^3 :

1.000 colonies.
200 moisissures, après 6 jours la gélatine est complètement liquéfiée.
70 liquéfiants.

Recherche du coli-bacille : 140 coli par litre.

Recherche de la contamination globale: négative sur 50 cm^3

Eau très suspecte.

Analyse chimique (même prélèvement) (1) :

Odeur	nulle
Saveur	nulle
Limpidité	eau trouble jaunâtre
Dépôt	Léger dépôt de matières terreuses
Oxygène dissous	10
Acide carbonique total	233
— libre et semi-combiné.	132
— combiné.	101
Azote ammoniacal	absence
— nitreux	absence
— nitrique	2.10

(1) Résultats exprimés en miligramme.

Matières organiques : acide	0.5
— alcalin	0.3
Résidu fixe à 110°	272
Perte au rouge	44
Degré hydrotimétrique total	24°5
— permanent	6°5
Alcalimétrie totale	140
Chlore en NaCl	8.5
Acide sulfurique en SO^3	2
Acide phosphorique	absence
Silice en SiO^3	4
Oxyde de fer et d'aluminium en $Al^2O^3 + Fe^2O^3$	2
Chaux en CaO	110
Magnésie en MgO	11

Conclusion : Eau de bonne minéralisation et qui, au point de vue chimique, ne donne aucun indice de contamination.

Prélèvement du 2 décembre 1935

(au robinet de distribution de la pharmacie)

Temps très pluvieux ainsi que les jours avant. Crues abondantes. Eau trouble jaunâtre tenant en suspension des matières terreuses.

Analyse bactériologique :

Numération des germes par cm^3 :

600 colonies.
600 liquéfiants dont plusieurs chromogènes.

Recherche du coli-bacille : 120 coli par litre.

Recherche de la contamination globale : positive avec 10 cm^3 de bouillon au rouge neutre : 200 microbes de contamination par litre.

Eau très suspecte.

Prélèvement du 11 décembre 1935
(à la source)

Temps brumeux, légèrement couvert, pas de pluies depuis quatre ou cinq jours. Crues en pleine décroissance, retour au régime normal.

Débit : 1.200 litres minute.

Eau sensiblement limpide.

Analyse bactériologique :

Numération des germes par cm^3 :

40 colonies dont 10 chromogènes et 5 liquéfiantes.
10 moisissures.

Recherche du coli-bacille : 5 coli environ par litre.

Recherche de la contamination globale : négative sur 50 cm^3.

Eau potable.

Prélèvement du 17 février 1936

Temps légèrement couvert, pas ou peu de pluies les dix jours précédents, mais assez brusques variations de température.

Débit de la source : 1.200 litres minute.

T° eau = 11°, t. ext. = 10°.

Eau limpide.

Analyse bactériologique :

Numération des germes par cm^3 :

30 colonies.
15 moisissures.
10 liquéfiants chromogènes.

Recherche du coli-bacille : négative sur 50 cm^3.

Recherche de la contamination globale : négative sur 50 cm^3.

Eau potable.

Analyse chimique (1) :

Odeur	nulle
Saveur	nulle
Limpidité	limpide
Dépôt	nul
Oxygène dissous	13
Acide carbonique total	285
— libre et semi-combiné	140
— combiné	145
Azote ammoniacal	absence
— nitreux	absence
— nitrique	1
pH	6.8
Matières organiques : acide	0.2
— alcalin	0.3
Résidu fixe à 110°	268
Perte au rouge	12
Degré hydrotimétrique total	23°
— permanent	6°5
Alcalimétrie totale	116
Chlore en NaCl	4
Acide sulfurique en SO^3	2.5
Acide phosphorique	absence
Silice en SiO^3	4
Oxyde de fer et d'aluminium $Al^2O^3 + Fe^2O^3$.	2.5
Chaux	175
Magnésie en MgO	11

Conclusion : Eau de bonne minéralisation et ne présentant absolument aucun indice de contamination.

(1) Résultats exprimés en milligramme.

Prélèvement du 5 juin 1936

Temps couvert et un peu de pluie dans la journée. Pluies assez abondantes les jours précédents après une période de sécheresse où le débit de la source était descendu à 450 litres minute. Le débit de la source augmente alors un peu et atteint 675 litres minute.

Eau très légèrement opalescente. T. eau = 11°. t. ext. = 15°.

Analyse bactériologique :

Numération des germes par cm³ sur gélatine :

Espèces liquéfiantes chromogènes	2
— non chromogènes.....	80
Espèces non liquéfiantes chromogènes.....	0
— non chromogènes...	850
Moisissures	10

Principales espèces trouvées : C. radiatus (Flugge), B. subtilis ((Ehrenberg), B. termo (Dujardin).

Numération des germes par cm³ sur gélose gélatine :

Nombre de colonies	720

Recherche de la contamination totale: sur 10 cm³, négative
— — sur 20 cm³, négative
— — sur 75 cm³, positive

Recherche du coli-bacille par litre 10

Conclusions : eau passable.

Prélèvement du 17 juin 1936

Beau temps, quelques rares pluies orageuses sans grande influence sur le débit de la source qui est de 650 litres minute.

Eau limpide. T° eau = 11°.

Analyse bactériologique :

Numération des germes par cm³ sur gélatine :

Espèces liquéfiantes chromogènes	4
— non chromogènes.....	50
Espèces non liquéfiantes chromogènes.....	0
— non chromogènes...	80
Moisissures	30

Numération des germes par cm³ sur gélose gélatine :

Nombre de colonies	60

Principales espèces trouvées : B. Subtilis (Ehrenberg), B. radicans (Zimmermann), B. Mycoides (Flugge), Penicillium glaucum (Link), Sterigmatocystis nigra (Van Tieghem), Actinomyces ?, Sarcina aurantiaca (Koch).

Recherche du coli-bacille par litre..... absence

Recherche de la contamination totale: sur 10 cm³, négative
— — sur 20 cm³, négative
— — sur 75 cm³, positive

Conclusion : Eau potable.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

A lire tous ces bulletins d'analyses, on serait tenté de classer la Fontaine au Diable comme très suspecte ou même mauvaise. Mais à bien regarder, cette source ne mérite pas une telle indignité, ni également non plus un excès d'honneur.

D'abord beaucoup de ces analyses ont été effectuées dans des périodes anormales alors que le débit était exagéré et l'eau trouble. A ces moments, la Fontaine au Diable se trouve nettement polluée, nous en avons donné amplement les raisons.

Ce qui, par contre, restait intéressant à connaître, c'était le parallélisme entre le degré de turbidité et la contamination, et si, revenue claire, l'eau demeurait suspecte.

Nous pensons avoir apporté de sérieuses preuves pour démontrer qu'avec la limpidité la contamination diminuait dans des proportions telles que la distribution de l'eau n'offre plus de danger.

Nous avons suivi plusieurs crues, toutes nous ont donné des résultats identiques, à savoir : présence exagérée de coli, d'espèces suspectes, quand l'eau est trouble, et une contamination qui dure quelques jours, tant que la source n'a pas repris son débit normal. Mais ces crues très exceptionnelles n'arrivent, somme toute, que quelques jours par an.

En période ordinaire, la présence de coli peu nombreux, et même souvent l'absence de ce test, n'a rien qui puisse la faire suspecter outre mesure. On est en plein régime

d'eaux issues de calcaires fissurés et quelques coli sont tolérés, à condition toutefois que le bassin alimentaire subisse une stricte surveillance.

Comme le plateau qui domine cette source n'est pas habité, les causes de contamination ne sont pas, somme toute, très graves.

C'est un fait constant aussi, que si on établit le bilan des fièvres typhogènes à Vesoul, — et on sait que depuis près de 70 ans, dans des conditions presque inchangées, la Fontaine au Diable entre au moins pour les trois quarts dans l'alimentation de la ville, — il se résume par peu de cas isolés, et jamais, même l'eau de distribution, n'a pu être incriminée.

Doit-on ne rien tenter pour améliorer cette source? Certainement pas; et les mesures suivantes contriburaient certainement à éloigner bien des causes de pollution.

1° Clôture immédiate et efficace ou mieux encore comblement de la carrière abandonnée, signalée plus haut. (1)

2° Interdiction, sur un périmètre assez éloigné et à déterminer, d'épandre des fumiers, purins et engrais qui sont nettement la cause des contaminations fécales et des coli trouvés dans les analyses.

Pour délimiter exactement le périmètre de protection, la municipalité de Vesoul a fait procéder à une enquête géologique par M. Dreyfuss. Dans ces conclusions, s'il ne peut

(1) Au moment où nous mettons sous presse, cette carrière, après nettoyage et enlèvement de tous les débris qui l'encombraient, est presque définitivement comblée.

délimiter parfaitement le bassin alimentaire qui risque d'aller fort loin, il conseille la même interdiction et le plus d'achat possible de terrains du plateau pour le reboisement.

3° Les différents travaux d'amélioration de l'adduction d'eau de Vesoul étant presque terminés, et en particulier le réservoir de Bellevue, en usage, rien n'empêche, au moment des crues, de mettre, à la décharge, les eaux de la Fontaine au Diable et jusqu'au retour au régime normal d'alimenter la Ville par les puits de la nappe alluviale.

4° Enfin, on a toujours la ressource de stériliser les eaux par la javellisation ou mieux par le chlore gazeux. Mais jusqu'ici on a hésité à employer ces procédés car il est très difficile d'opérer sur des eaux troubles, le dosage du chlore, toujours en fonction de la turbidité et du test d'absorption, demande alors une surveillance de tous les instants.

Une filtration préalable serait nécessaire, d'où travaux très coûteux, et, au surplus, l'entretient et l'usage des filtres par intermittence n'est pas sans offrir certains inconvénients et même certains dangers.

LES PUITS DE LA NAPPE ALLUVIALE DE FROTEY

Si le recours aux émergences naturelles semble la solution la plus simple et la plus sûre du problème de l'eau, il n'en reste pas moins vrai qu'elle est souvent inapplicable et que, si on veut faire appel à un débit important, on risque ou des sources défaillantes, ou des eaux douteuses.

En ce qui nous concerne, nous ne voulons pas revenir sur les résultats de l'enquête que nous avons menée des ressources aquifères de la région de Vesoul. La conclusion est très nette, et si paradoxale qu'elle puisse paraître, dans une région où, en définitive, ils abondent, on a vu que successivement tous les points d'eaux envisagés, ou toutes les autres solutions proposées, devaient être abandonnées les unes après les autres.

Force est donc de rechercher d'autres procédés et, suivant l'exemple de nombreuses villes, on a pensé à la nappe alluviale pour parfaire l'alimentation.

LE PREMIER PUITS

Toutes ces raisons, le professeur Fournier les connaissait parfaitement, lorsqu'en 1924, invité par M. Morel, maire, à procéder à une enquête pour compléter l'alimentation, il avait indiqué les eaux de la nappe alluviale.

Après plusieurs sondages, on décide donc, sur ses conseils, de forer un puits un peu en amont des Promenades, aux Prés Cointot, situés entre celles-ci et la ligne de Belfort.

Le sondage donnait, après avoir traversé 4 m. 30 de limons et de terre, une épaisse couche de graviers aquifères de plus de 4 mètres.

A ce moment, on rencontre les schistes à Posidonomyes du Lias, complètement imperméables, et il est bien inutile de descendre plus bas.

Le résultat de l'analyse chimique effectuée, dit en conclusion le professeur Fournier, n'est pas mauvais, malgré une teneur un peu forte en sulfates, mais comme avec le mélange d'eaux de sources et d'eaux d'alluvions on aura $0{,}046 < 0{,}050$, soit en sulfate de chaux $0{,}079 < 0{,}085$, on reste en dessous de la proportion admise par le Comité d'hygiène. De plus, une grande partie des sulfates est constituée par du sulfate de magnésie; cette eau ne peut donc pas être qualifiée de séléniteuse, sa composition se rapproche un peu de celle des eaux de Vittel. A part cette question sulfates, l'eau est parfaite à tous les points de vue.

Voici d'ailleurs les résultats des analyses chimiques effectuées par M. Zorn, du laboratoire de la faculté des sciences de Besançon et M. Billon du laboratoire des Fraudes.

Leurs conclusions diffèrent assez nettement, surtout en ce qui concerne les sulfates de celles du professeur Fournier.

Laboratoire pour la répression des fraudes

Bulletin d'analyse :

Matière analysée : Eau nappe alluviale des Prés Cointots :

Degré hydrotimétrique total		37°
Extrait total	(par litre	0 g. 542
Perte au rouge sombre	—	0 g. 040
Carbonate de Chaux	—	0 g. 278
Sulfate de Chaux	—	0 g. 097
Carbonate de Magnésie	—	0 g. 113
Chlorure de sodium	—	0 g. 009
Sels ammoniacaux. — Présence très nette		
Nitrites		0 g.
Nitrates		0 g.

Oxygène emprunté au Permanganate :

Acide (par litre)	0 g. 0003
Alcalin (par litre)	0 g. 0011

Par sa minéralisation excessive (notamment en ce qui concerne les Sulfates et la Magnésie), et la présence de sels ammoniacaux, cette eau doit être classée dans la catégorie des « Eaux Suspectes », et n'est pas recommandable.

Besançon, le 17 août 1922.

Le Directeur,
Signé : BILLON.

Laboratoire de la Faculté des Sciences de Besançon

Analyse chimique de l'eau de la nappe alluviale des Prés Cointots

Prélèvement du 2 décembre 1922

		Eau de la nappe alluviale pompée aux prés Cointots
Résidu à 110°	(par litre)	0 g. 554
Perte au rouge	—	0 g. 020
Acide sulfurique (en SO^3)	—	0 g. 083
Chlore (en chlorure de sodium)	—	0 g. 011
Acide carbonique des carbonates	—	0 g. 169
Carbonate de chaux	—	0 g. 232
Carbonate de magnésie	—	0 g. 040
Chaux totale	—	0 g. 190
Magnésie totale	—	0 g. 027
Oxygène emprunté au permanganate acide	—	1 mgr. 0
Oxygène emprunté au permanganate alcalin	—	1 mgr. 0
Nitrites		Néant.
Nitrates et nitrate de potasse		Néant.
Ammoniaque		traces faibles
Degré hydrotimétrique		44°

L'eau de la nappe alluviale, conclut-il, contient un excès d'acide sulfurique. Le Comité consultatif d'hygiène classe comme mauvaises toutes les eaux destinées à l'alimentation publique qui renferment plus de de 0 gr. 050 d'acide sulfurique exprimé en SO^3 ou plus de 0 gr. 085 de sulfate de chaux. Or l'eau analysée contient 0 gr. 083 de

SO^3 qui correspondraient à 0 gr. 141 de sulfate de chaux. Cette eau de la nappe alluviale est d'ailleurs ferrugineuse : un litre de cette eau, abandonnée à l'air dépose 0 gr. 020 de sesquioxyde de fer.

L'eau de la nappe alluviale est donc séléniteuse. Or, les eaux séléniteuses, outre qu'elles sont peu propres au savonnage et à la cuisson des légumes, sont le plus souvent d'une digestion difficile et occasionnent parfois des troubles dans l'organisme; elles sont, en outre, très altérables par suite de la facile réductibilité du sulfate calcique qui se transforme en sulfure de calcium.

Quant à l'eau qui proviendrait du mélange à volumes égaux de l'eau du réservoir de la ville et de l'eau de la nappe alluviale, elle présenterait encore un excès d'acide sulfurique et une proportion de sulfate de chaux de 0 gr. 079 par litre. Elle serait classée, d'après les nombres fixés par le Comité Consultatif d'hygiène, parmi les eaux suspectes et cela uniquement à cause de ses teneurs en acide sulfurique et en sulfate de chaux.

Besançon le.....

Signé : ZORN.

Les analyses bactériologiques étaient très favorables.

Laboratoire départemental de bactériologie, à Besançon

Analyse bactériologique du sondage de Frotey

Analyse quantitative : La numération des colonies sur gélatine a donné 60 bactéries au cm^3.

Analyse qualitative : La recherche des espèces pathogènes, et en particulier des espèces du groupe du coli-bacille, est restée complètement négative.

Espèces putrides : néant.

Espèces suspectes : néant.

Conclusion: Eau très bonne au point de vue bactériologique.

Passant outre, sur les considération faites par les chimistes, le professeur Fournier admet que les eaux de la nappe alluviale des Prés Cointots donnent toutes les garanties hygiéniques d'une eau parfaitement utilisable pour l'alimentation publique et que le débit suffisant peut donner satisfaction aux besoins de la Ville en cas de sécheresse.

Il établit par contre les réserves suivantes : zone de protection de 100 mètres et comblement d'un petit ruisseau voisin. Toutes ces conclusions, la municipalité d'alors les approuve et M. Philippe, ingénieur voyer, fait adopter et exécuter les dispositions nécessaires pour réaliser le projet.

On procède aux Prés Cointots à la construction d'un puits de 3 m. de diamètre, descendu jusqu'à une profondeur d'environ 8 m. 20 au-dessous du sol et dont l'embase vient à 0 m. 80 au-dessus des schistes. Les parois étanches ne laissent pénétrer l'eau que par le fond.

Une petite maisonnette renferme la pompe et le moteur électrique, et une conduite en tuyaux de fonte, avec joints de caoutchouc, aboutit au réservoir de la Ville, distant d'environ 600 m., avec une dénivellation entre le trop-plein et la crépine, de 37 m.

Une large zone de protection a été créée, et tout le quadrilatère délimité par une ligne passant bien en amont du puits, le Durgeon, les Promenades et le chemin de Frotey comblé par apport de terre prélevée dans un emprunt creusé sur les bords de la rivière.

A l'usage le débit du puits a été satisfaisant et a donné très largement tout ce qu'on pouvait attendre (500 m^3 par 24 heures), mais on s'est aperçu d'un gros inconvénient que les analyses chimiques n'avaient pas fait suffisamment ressortir : la présence de fer dans l'eau qui occasionne une nuisance désagréable. Nous nous sommes déjà expliqués sur ce phénomène, sur ses origines et sur ses inconvénients. Il a fallu donc y remédier.

Le professeur Fournier, ayant été consulté, croit que la teneur en fer diminuera très rapidement après une mise en service prolongée, ou tout au moins, se stabilisera à un taux beaucoup plus faible, au bout de quelques années.

Mais l'expérience n'a pas confirmé cette dernière hypothèse et après quelques années de service les inconvénients de livrer des eaux ferrugineuses ont paru tels qu'il a fallu envisager l'installation d'un déferriseur.

On s'est arrêté à un modèle de déferriseur en vase clos oxydant l'eau par l'air comprimé et filtration sur sable. Nous en reparlerons plus longuement.

Rendues limpides ainsi, les eaux d'alluvions formèrent un gros appoint à l'alimentation de la Ville et permirent, pendant plusieurs années de doubler le cap des mois de sécheresse.

Malgré une très forte minéralisation, ces eaux restent tout à fait propre à la consommation et leur pureté bactériologique éloigne toute idée de contamination.

Voici une série d'analyses exécutées par différents laboratoires et qui en établissent la valeur.

Laboratoire départemental de bactériologie, à Besançon

Analyse bactériologique d'eau pour la commune de Vesoul (Haute-Saône)

Puits de la prairie de Frotey

Prélèvement effectué le 6 août 1927

1° Caractère physique : eau limpide, incolore et sans odeur.

2° Analyse quantitative : la numération des colonies sur gélatine a donné 150 bactéries au centimètre cube.

3° Analyse qualitative : 1) La recherche des espèces pathogènes, et, en particulier des espèces du groupe du bacille-coli, est restée complètement négative;

2) Pas d'espèces putrides;

3) Rares espèces liquéfiantes;

Conclusions : Eau bonne au point de vue bactériologique.

Le Directeur du Laboratoire,

Signé : MARECHAL.

Analyse de l'Institut d'Hygiène et de Bactériologie de la Faculté de Médecine de Nancy

Analyse bactériologique du puits

Vesoul, le 28 juillet 1929.

Analyse quantitative : Microbes aérobies	329 colonies au cm³.
Microbes anaérobies stricts.....	absence
Recherche et numération du coli-bacille...	pas de coli dans 150 cm³
Microbes pathogènes	néant
— saprophytes	néant

Conclusion : L'absence de coli-bacille dans 150 cm³ et le nombre pas trop élevé des autres colonies microbiennes (329 au cm³) permettent de considérer cette eau comme bonne au point de vue bactériologique à la date de l'analyse.

Laboratoire de bactériologie de Besançon

Eau du puits de Vesoul

Prélèvement du 5 août 1929

Analyse quantitative: La numération des colonies sur gélatine a donné 200 bactéries au cm³.

Analyse qualitative : La recherche des espèces du groupe du coli-bacille est restée négative.

Pas d'espèces putrides.

Conclusion : Eau très bonne au point de vue bactériologique.

Laboratoire des Fraudes, à Besançon

Eau des Prés Cointots

Analyse du 14 août 1929

Degré hydrotimétrique total	39°
Résidu sec	0,520
Perte au rouge sombre	0,032
Acide carbonique des carbonates CO^2	0,159
Acide sulfurique SO^3	0,077
Chlore en NaCl	0,008
Chaux totale CaO	0,190
Magnésie totale MgO	0,034
Métaux alcalin Na^2O	0,019
Carbonate de chaux CO^3Ca	0,327
Carbonate de magnésie CO^3Mg	0,028
Sulfate de chaux SO^4Ca	0,017
Sulfate de magnésie SO^4Mg	0,063
Sulfate des métaux alcalins SO^4Na^2	0,044
Sels ferreux	faibles traces
Carbonate ferrique	présence en suspension
Sels ammoniacaux	légères traces
Nitrite	0
Nitrate	0
Oxygène emprunté au MnO^4K : acide	0,0005
— alcalin	0,0005

Au point de vue chimique, cette eau a les caractères d'une eau pure exempte de souillures, mais sa minéralisation très forte et chargée en sulfates, en fait une eau dure, cuisant mal les légumes et dissolvant mal le savon.

Cet inconvénient n'est pourtant pas de nature à faire rejeter cette eau comme non potable et impropre aux usages domestiques et, à défaut de meilleure, elle peut être utilisée.

Le dépôt rougeâtre que vous avez observé est constitué par de l'hydrate ferrique insoluble qui s'est formé par oxydation à l'air d'un peu de sel ferreux incolore (carbonate vraisemblablement) dont il ne reste que des traces dans l'eau examinée. Par suite l'eau, d'abord incolore, limpide, se trouble et devient rougeâtre par oxydation du sel ferreux en hydrate ferrique qui se dépose sous forme de dépôt (rouille), eau redevenant limpide et incolore.

Les sels de fer n'ont aucun inconvénient, puisque automatiquement ils s'éliminent, ils ne sont d'ailleurs aucunement dangereux.

A. BILLON.

Laboratoire de surveillance des Eaux de la Ville de Paris

Analyse des eaux de l'ancien Puits de la nappe alluviale de Vesoul

Prélèvement du 22 juin 1934

T° = 11°.

Nombre de germes renfermés par cm³ :

Colonies non liquéfiantes		920
Colonies liquéfiantes		0
Bactérium coli communis	par litre	0
Micrococcus enteritis (enterocoque)	—	40
Bacillus perfringens	—	0
Germes producteurs H^2S	—	0
Bactéries putrides	—	0

Eau potable à surveiller.

Voilà une série d'analyses récentes que nous avons effectuées dans notre laboratoire :

Ancien Puits de la nappe alluviale de Frotey

Prélèvement du 28 novembre 1935

Analyse bactériologique :

Numération des germes par cm³ :

	Avant déferrisation au robinet de vidange de la pompe	après déferrisation à la sortie du déferriseur
Espèces liquéfiantes chromogènes	0	0
— — non chromog.	0	0
— non liquéfiantes chromog.	0	8
— non liquéfiantes non chromogènes.	80	10
Moisissures	22	8
Recherche du coli-bacille (par litre)	absence	absence
Recherche de la contamination totale sur 50 cm³	absence	absence
sur 100 cm³.	absence	absence

Conclusion : Eau bonne au point de vue bactérologique.

Analyse chimique (1)
du 28 novembre 1935

Temps légèrement brumeux, peu de pluie les huit jours précédents, faibles gelées.

T° ext. = 7°5.

	Avant déferrisation	Après déferrisation
Odeur	nulle	nulle
Saveur	très légèrement stypique	nulle
Limpidité	claire à l'émission, mais se troublant au bout de quelques heures	limpide
Dépôt	ferrugineux	nul
Oxygène dissous	0,7	5,7
Ph.	6,8	6,8
Acide carbonique total	145	149
— libre et semi-combiné	92,5	70,4
— combiné	52	79
Azote ammoniacal	0,6	0,04
— nitreux	absence	absence
— nitrique	»	»
Matières organiques : acide	1,5	0,5
— alcalin	0,4	0,5
Résidu fixe à 110°	530	523
Perte au rouge	55	41
Degré hydrotimétrique : total	41°5	41°
— permanent.	15°	14,5
Alcalimétrie totale	200	198
Chlore en NaCl	9,5	9,5
Acide sulfurique en SO^3	70	56
Acide phosphorique	absence	absence
Silice en SO^3	17	11
Fer et alumine	15	3
Fer en Fe^2O^3	8	0,2
Manganèse	traces	absence
Chaux en CaO	205	200
Magnésie en MgO	28	25

(1) Résultats en milligramme.

Analyse bactériologique de l'ancien Puits de la nappe alluviale, du 12 mai 1936

Prélèvement effectué à la sortie du déferriseur.

Eau limpide, incolore, sans odeur, ni saveur.

T° eau = 11°, t° ext. = 18°.

1° Numération des germes par cm³ sur gélatine :

Espèces liquéfiantes chromogènes.....	absence
— — non chromogènes	4
— non liquéfiantes chromogènes	absence
— — non chromogènes..	210
Moisissures	2

2° Anaérobies ..... absence

3° Recherche du coli-bacille (par litre)..... absence

4° Recherche de la contamination totale :

sur 50 cm³.	négative
sur 100 cm³.	négative

Conclusion : Eau bonne au point de vue bactériologique.

En somme, toute cette série d'analyses n'a fait que de confirmer les prévisions, malgré une minéralisation peut-être un peu excessive, les eaux du puits du pré Cointot ont les meilleures qualités requises pour une eau destinée à l'alimentation publique.

LES NOUVEAUX PUITS

Dans l'exposé des différents travaux qui ont été entrepris successivement pour assurer l'alimentation de la ville de Vesoul en eau potable, nous avons justifié les dernières réalisations en indiquant les bases qui ont servi à déterminer la quantité d'eau à fournir.

Ces travaux complètement réalisés maintenant, consistent en ceci.

D'abord l'ancien puits des Prés Cointots a été conservé parce que, en parfait état, il donnait toute satisfaction. Il a servi de modèle pour la construction de trois autres puits presques identiques et distants entre eux de 200 m. pour éviter les interferrences, puits qui ont donc 3 m. de diamètre et descendus jusqu'à 0 m. 80 au-dessus des marnes liasiques.

L'arrivée de l'eau, l'emploi de barbacanes étant écarté, se fait par le fond à vitesse très réduite (moins de 10 litres seconde). On évite ainsi l'ensablement rapide et on oblige l'eau à une pénétration complète à travers la couche filtrante.

Ces puits ont été construits en béton armé et munis d'une margelle étanche à 0 m. 50 en contre-haut des plus fortes crues connues, et recouverts d'une dalle armée avec tampon de visite en fonte hermétique.

Les différentes couches traversées restent sensiblement les mêmes pour les trois puits; un seul a dû être descendu un peu plus bas par les autres.

Voici les epaisseurs de ces différentes couches que donne parfaitement d'ailleurs le schéma joint plus haut :

Terre végétale et argile.....		2 m.
Argile et graviers.....		2 m.
Graviers aquifers, entre.....	3 m. 30 et	3 m. 80

Le sol actuel de la prairie étant à la cote 219,02, le terrain imperméable se trouve à 211,12 et les niveaux des plus hautes crues à la cote 219,65.

Tout autour des puits, on a établi un fort corroi d'argile de 10 m. de rayon à inclinaison nettement centrifuge pour éloigner les eaux superficielles et une large zone de protection de 50 m. de rayon, entourée par un grillage de 1 m. 75 de hauteur, empêche l'accès aux abords.

La Ville a, bien entendu acheté le plus de terrains possible (presque 6 hectares) et par la suite on procédera à quelques plantations, sans exagération toutefois, car l'évaporation risquerait de soustraire une quantité d'eau appréciable; il va de soi que les pâtures ont été interdites.

Tous les nouveaux puits, ainsi que l'ancien, sont reliés en siphon à un puisard collecteur par des tuyaux « Précis » à joints hermétiques. Ce puisard collecteur, tout près de la salle des machines, est circulaire, de 3 m. de diamètre, descendu plus profondément que les puits et sur fond étanche, pour permettre les nettoyages voulus. Des systèmes de vannes, au départ de chaque puits, permettent, le cas échéant, un isolement complet.

Le bâtiment destiné à recevoir les engins de pompage, les filtres, les transformateurs, a été édifié en bordure du chemin de Frotey, à l'extrémité d'un terrain déjà remblayé et à l'abri des inondations.

L'ancien petit bâtiment, qui abritait la pompe et le déferrisseur du premier puits, ne pouvait être conservé, la solution, la plus simple, voulait que l'on réunisse dans un seul local toute la machinerie.

Ce nouveau bâtiment comprend une salle de filtres, une salle des machines et des cabines à haute et basse tension.

Pour réserver l'avenir et pour ne pas ajouter d'autres appareils en cas d'extension et de forage de nouveaux puits, le débit des pompes et des filtres a été prévu très largement.

On a donc installé deux groupes de moto-pompes capables chacun de débiter en marche continue 100 m^3 d'eau à l'heure. Une de ces pompes horizontale peut s'actionner soit par un moteur à essence, soit par un moteur électrique, et est munie d'un hydroéjecteur. Une autre verticale placée dans une fosse étanche, à un niveau plus bas, permet un pompage très complet du puisard collecteur.

La réinstallation des groupes moto-pompes de 50 m^3 et de 40 m^3, existant dans l'ancienne station, sera un secours supplémentaire en cas d'avarie de machine ou de pompage par trop intense.

Chacun de ces groupes existe avec sa tuyauterie propre et cela pour assurer un fonctionnement indépendant. Toutes ces pompes sont, bien entendu, actionnées par des moteurs électriques, et un poste de transformation complètement isolé abaisse le courant arrivant sous haute tension.

Ce qui caractérise cette station, c'est son automaticité. Tout peu fonctionner avec un minimum de surveillance.

STATION DE POMPAGE. — Les déferrisseurs type "Degremont"

STATION DE POMPAGE. — Les pompes horizontales et verticales

Lorsque le niveau dans le réservoir de refoulement descend au-dessous d'une certaine cote, 1 m. 50 par exemple, une commande électrique met en mouvement l'un quelconque des quatre groupes moteurs choisis. Un déprimostat actionne automatiquement une pompe à vide qui amorce les siphons.

Des compteurs de type « Venturi » donnent à tout moment le débit d'eau refoulé.

La tuyauterie de refoulement, en 300 mm. de diamètre, double celle qui partait de l'ancienne station, conservée d'ailleurs et prolongée jusqu'à la nouvelle.

L'installation de ces appareils a été faite par la maison Rateau, bien connue par ses nombreuses réalisations de ce genre.

LES DÉFERRISEURS

La station est complétée pour toutes les raisons données par une batterie de 4 déferriseurs, 3 nouveaux et l'ancien, réinstallé à côté.

La déferrisation de l'eau est une opération délicate et ne réussit parfaitement qu'à condition d'employer un appareil approprié.

Le meilleur ici était de s'en tenir à l'expérience acquise. L'excellent appareil, fourni par la maison Degrémont, pendant des années fonctionnait de façon parfaite. On obtenait, même dans des conditions de surcharge un peu anormales, une déferrisation excellente; il n'y avait donc

pas lieu de changer. Le montage de ces appareils permet une marche en parallèle ou isolément et ils peuvent traiter 120 m³ à l'heure sous une pression de 3 kilos. Le débit irait même jusqu'à 150 m³ en cas de besoin.

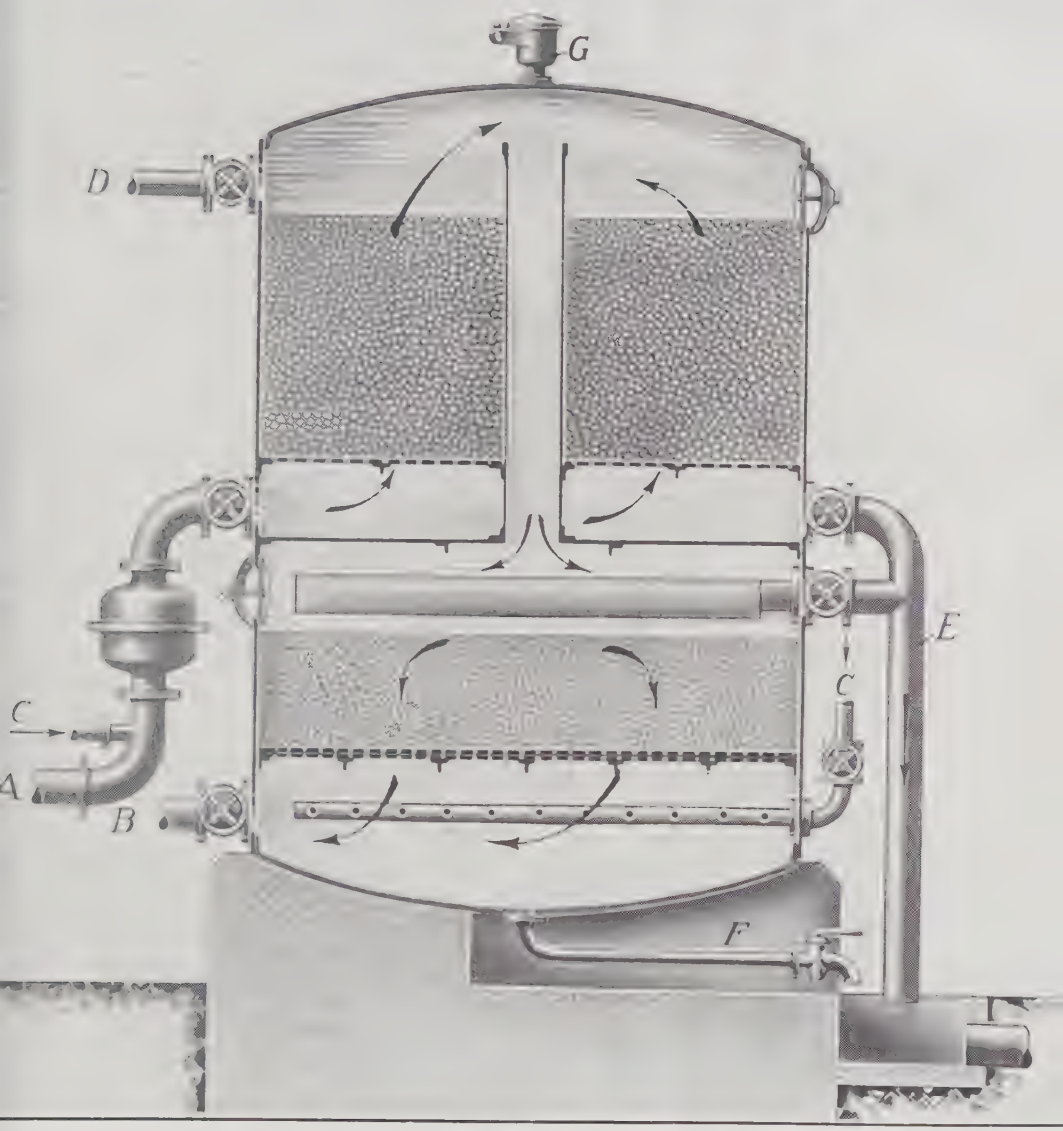
Chaque déferriseur, comme l'indique la coupe schématique ci-jointe, se compose d'une sorte de cuve fermée en tôle d'acier et comprend une tour de contact suivie d'un filtre rapide.

Le fonctionnement est des plus simples.

L'eau brute arrive en A et reçoit avant son entrée dans le mélangeur une insufflation d'air comprimé, par la tubulure C. L'émulsion eau et air, créée par le mélangeur, traverse la masse de contact en lave volcanique, puis, redescendant, par la colonne centrale, traverse le filtre à silex et vient ressortir en B. L'air non absorbé a été au préalable évacué par la soupape G.

Les dépôts ferrugineux sont retenus en faible proportion dans la masse de contact et en majeure partie par le filtre à silex. En général, il suffit de nettoyer la lave par contre-courant, deux fois par mois, alors que le filtre est lavé une ou deux fois par semaine. Le lavage du filtre se fait par contre-courant et soufflerie d'air, et un dispositif permet de prélever au réservoir l'eau nécessaire qui est amenée au filtre par gravité, en empruntant la conduite de refoulement.

Les besoins, en eau de rinçage, s'élèvent environ à 2 % de la quantité d'eau filtrée et pour éviter un excès de consommation, le rinçage est complété par l'envoi d'air comprimé que donne un surpresseur.



Coupe schématique d'un Déferriseur fermé

Type « Degrémont »

Des manomètres à mercure, installés sur un tableau spécial, permettent de se rendre compte du degré d'encrassage des filtres. Un collecteur, qui rejoint la rivière, évacue les boues ferrugineuses.

Outre une déferrisation poussée aussi loin que le veulent les règles de l'hygiène, ces types d'appareils, qui s'intercalent sous la conduite d'eau sous pression offrent les avantages suivants : une seule pompe de circulation d'eau suffit pour l'aspiration, le passage dans le filtre et le refoulement.

L'encombrement est très réduit; on n'a plus les immenses tours des appareils ouverts qui exigeaient des surfaces énormes et que l'hiver on mettait difficilement à l'abri des fortes gelées.

Au surplus, le fonctionnement en vase clos et la pression accélèrent la réaction et produisent des précipités volumineux qui peuvent être retenus dans des appareils filtrants peu condensés.

Enfin, et dernier point, non négligeable, l'énergie consommée se réduit à la perte de charge occasionnée par le filtre.

En réalité, cette station, malgré la multiplicité des appareils et dont les plans conçus entièrement par M. Joly, et réalisés avec la meilleure compétence technique par l'entreprise Piretti, de Loulans, fonctionne très simplement et nécessite une surveillance aussi réduite que possible.

Voici les résultats des analyses que nous avons effectuées sur les eaux des trois nouveaux puits.

Prélèvement du 23 juin 1936

après la mise en marche de la station

Analyse bactériologique :

Le prélèvement a été effectué à la sortie d'un des déferriseurs et l'eau provient du mélange des trois nouveaux puits.

Beau temps et peu de pluie les jours précédents.

1° Numération des germes par cm³ sur gélatine :

Espèces liquéfiantes chromogènes.....	6
— — non chromogènes	0
— non liquéfiantes chromogènes.....	5
— — non chromogènes..	40
Moisissures	3

Principales espèces trouvées : Sarcina aurantiaca (Koch), Coccus candicans (Flugge), Staphylococcus pyogenes albus (Rosenbach), Penicillium glaucum (Link), Sterigmatocystis nigra (V. Thieghem).

2° Numération des germes par cm³ sur gélatine et gelose :

Nombre de colonies 30

3° Anaérobies ..... absence

4° Recherche du coli-bacille (sur 50 cm³)..... absence

5° Recherche de la contamination totale :

sur 50 cm³. absence
sur 100 cm³. absence

Conclusion : Eau bonne au point de vue bactériologique.

Analyse chimique (1) :

	Avant déferrisation	Après déferrisation
Odeur	nulle	nulle
Saveur	très faiblement stypique	»
Limpidité	claire à l'émission, mais se trouble après quelques heures	limpide
Dépôt	rougeâtre floconneux	nul
Oxygène dissous	1,5	5
pH	6,8	6,8
Acide carbonique total	166	151
libre et semi-combiné.	118	101
— combiné	18	50
Azote ammoniacal	0,5	0,3
nitreux	absence	traces imperceptibles
— nitrique	»	absence
Matières organiques : acide	0,5	1
— alcalin	0,5	0,9
Résidu fixe à 110°	449	404
Perte au rouge	20	17
Degré hydrotimétrique : total	39	38°5
- permanent.	13°5	13°
Alcalimétrie totale	180	178
Chlore en NaCl	8	7,5
Acide sulfurique en SO^3	35	23
Acide phosphorique	absence	absence
Silice en SiO^3	6	8
Fer et alumine	6	3
Fer en Fe^2O^3	3	0,3
Manganèse	traces	absence
Chaux en CaO	145	170
Magnésie en MgO	18	21

(1 Résultats en milligramme.

Si l'on veut bien comparer cette analyse avec celle du premier puits exploité, on constatera que les minéralisations correspondent assez, la dernière étant toutefois sensiblement moins accentuée que la première. Les pompages intensifs, la vitesse d'arrivée d'eau n'y sont certainement pas étrangers. Pour les raisons que nous avons données plus haut, la présence d'ammoniaque ne peut pas s'interpréter dans un sens péjoratif.

Il convenait de rechercher si, peu après les inondations, alors que la prairie est saturée d'eau de débordement, les puits ne subissaient pas de contamination. Une opinion définitive ne peut pas cependant s'établir à l'heure actuelle, les travaux viennent à peine de se terminer. Les terres ne sont pas suffisamment colmatées et il reste à compléter encore quelques mesures de protection.

Plusieurs séries d'analyses doivent être envisagées dans cet ordre d'idée pour arriver à une certitude. Celle que nous avons faite dans ces conditions nous a donné le résultat suivant :

Prélèvement du 11 août 1936

Analyse bactériologique :

Pluies assez abondantes fin juillet et au début d'août, qui ont amené l'inondation de la prairie, l'eau vient seulement de se retirer.

Le prélèvement a été effectué après la déferrisation.

Nitrites	0,1
Nitrates	0,5
Ammoniaque	0,6

1° Numération des germes par cm³ sur gélatine :

Espèces liquéfiantes chromogènes	6
— — non chromogènes	18
— non liquéfiantes chromogènes	0
— — non chromogènes	74
Moisissures	absence

2° Anaérobies ..... absence

3° Recherche du coli-bacille ..... absence

4° Recherche de la contamination totale :

sur 15 cm³.	légèrement positive
sur 50 cm³.	positive
sur 100 cm³.	positive

Sans subir de contamination proprement dite, on peut craindre un léger apport d'eaux superficielles.

Voici une autre analyse effectuée dans des conditions sensiblement pareilles, mais les mesures de protection ayant été déjà complétées.

Prélèvement du 6 octobre 1936

Analyse bactériologique :

Beau temps, mais pluies assez abondantes dix jours avant, la rivière a débordé et la prairie, autour du pits, inondée. L'eau vient seulement de se retirer depuis quelques jours.

	Avant déferrisation	Après déferrisation
Nitrites	traces infimes	traces infimes
Nitrates	absence	absence
Ammoniaque	0,1	0,1
1° Numération des germes sur gélatine par cm³ :		
Espèces liquéfiantes chromogènes	absence	absence
— non chromog.	9	»
Espèces non liquéfiantes chromog.	2	»
— non chomog.	15	10
Moisissures	6	4
Recherche des anaérobies	absence	absence
2° Numération des bermes par cm³ sur gélose gélatine	20	8
3° Recherche du coli-bacille	absence	absence
4° Recherche de la contamination totale : sur 20 cm³.	négatif	négatif
sur 50 cm³.	positif	négatif
sur 100 cm³.	positif	positif

Conclusion : Eau potable, mais il convient encore et de surveiller les zones de protection et au besoin de les renforcer.

Un point important, par exemple, à observer assez rigoureusement, c'est, après une période de repos de la station, puisque celle-ci ne marche que par intermittence, de ne pas distribuer les premières eaux de pompage, eaux qui ont séjourné dans les appareils et les puits.

Après plusieurs heures de refoulement on peut seulement admettre que l'eau est potable.

Une analyse faite, en effet, après quelques instants de pompage, nous avait donné des résultats très défavorables.

Analyse bactériologique :

1° Numération des germes par cm³ sur gélatine :

Espèces liquéfiantes chromogènes.....	6
— — non chromogènes . . .	40
— non liquéfiantes chromogènes . .	0
— — non chromogènes . .	180
Moisissures	6

2° Recherche du coli-bacille (par litre) 60

3° Recherche de la contamination totale :

sur 20 cm³. positive
sur 50 cm³. positive

Conclusion : Eau suspecte qu'il ne convient pas de distribuer ainsi.

Compte tenu de ces réserves, qui n'ont d'autre but que de démontrer la nécessité d'une zone de protection efficace et de l'entretien soigneux des appareils, les eaux des nouveaux puits ont les réelles qualités hygiéniques que l'on est en droit d'attendre de celles servant à une alimentation collective.

Le résultat de l'analyse exécutée par le LABORATOIRE DE SURVEILLANCE DES EAUX DE PARIS, et que nous allons donner, confirme amplement les affirmations antérieures.

Service de Contrôle des eaux de Paris

Analyse des eaux des puits et de la nappe alluviale de Frotey

Prélèvement du 26 octobre 1936

Analyse bactériologique (après déferrisation) :

Numération totale des espèces. Nombre de germes par cm^3:

Colonies non liquéfiantes		95
Colonies liquéfiantes		5
Bactérium Coli communis	par litre	0
Micrococcus entéritis (Enterocoque)	—	0
Bacillus prefringens	—	0
Germes producteurs d'H^2S	—	40
Bactéries putrides		0
Epreuve du rouge neutre		négative

Analyse chimique (1) :

	Avant déferrisation	Après déferrisation
Température	<	12°
Turbidité en goutte de mastic		6
pH	×	7,1
Matières organiques alcaline	×	0,50
Résistivité électrique (en ohm^5)	×	1625
Degré hydrotimétrique total	35°	×
Anions		
Alcalinité en CaO	×	185
Nitrites en azote nitreux	×	0
Nitrates en azote nitrique	×	0
Chlore des chlorures en Cl	×	5
Acide sulfurique en SO^3	×	41,1
Silice en SiO^2	×	13
Cathions		
Azote ammoniacal	0,2	
Chaux en CaO	180	
Magnésie en MgO	13,3	
Fer en Fe^2O^3	2,6	0,35

(1) Résultats en milligramme.

Conclusions : L'eau de Frotey, après déferrisation, est de composition chimique et bactériologique satisfaisante. Sa minéralisation est un peu élevée.

La déferrisation est correcte par réduction du taux de fer de 2 mgr. 6 à 0 mgr. 35 par litre.

En résumé, le projet complémentaire, réalisé maintenant, doit donner toute satisfaction, il a atteint son but et restait parfaitement justifié.

CONCLUSION

Si nous jetons un dernier regard sur cette question des eaux d'alimentation de Vesoul, que pouvons-nous conclure?

Nous avons montré d'abord qu'aux différentes époques un gros effort avait été fait pour ne pas s'écarter de la formule : abondance et qualité, formule qui résume le but de tous les projets possibles d'adduction d'eau.

Au point de vue quantité, certainement les derniers travaux vont permettre pendant plusieurs décades une alimentation très largement suffisante de la ville; peu d'agglomérations de l'importance de Vesoul peuvent disposer de 225 litres par habitant. Il faudrait un développement anormal de la ville — on entre alors dans le domaine de l'imprévisible — pour se trouver à court; même encore, il reste très possible de puiser dans la nappe alluviale, et sans beaucoup de changements à la station de pompage, de nouvelles ressources.

La construction de nouveaux réservoirs, le doublement et le remaillage des canalisations vont permettre une distribution mieux répartie et bien équilibrée.

Sans doute il existe par-ci, par-là, des tronçons de cana-

lisation très vieilles et même insuffisantes, à la merci d'un léger à-coup, mais c'est monnaie courante dans tout réseau, une surveillance et un entretien attentif doivent s'exercer.

Au point de vue qualité, si les eaux qui alimentant la ville ne sont pas absolument irréprochables, — et il n'y en a pas beaucoup de telles, — elles n'ont aucun caractère ni suspect, ni inquiétant.

Incontestablement, il se produit des défaillances dans la filtration et dans l'épuration des eaux de source au moment des crues, mais, et nous le répétons encore, cette contamination passagère ne présente pas la gravité qu'on serait tenté de lui supposer.

C'est peut être un raisonnement simpliste et sans grande valeur scientifique, mais les mêmes faits existent depuis fort longtemps et jamais aucune épidémie d'origine hydrique n'a été constatée à Vesoul, même dans la garnison toujours plus sensible et la première atteinte. Cet argument d'ordre épidémiologique ne reste pas sans valeur.

Si l'on veut bien se reporter à l'enquête que nous avons poursuivie, et au fait que nous avons considéré comme très important, on n'oubliera pas que le bassin alimentaire des sources est complètement inhabité.

Les éléments dangereux restent toujours les eaux usées, les germes jeunes et virulents provenant de malades atteints d'affection intestinale transmissible. C'est à tout prix ce qu'il faut continuellement éviter.

Avec des terrains calcaires, d'un pouvoir filtrant, très peu sûr comme nos plateaux, si les conditions venaient pour une raison quelconque à changer, alors nous serions

obligé de faire les plus extrêmes réserves et d'autres conclusions. Une surveillance continuelle s'impose donc.

Les eaux des puits, et voilà leur grande qualité, avec certaines précautions facile à prendre, sont très bonnes au point de vue bactériologique. Certainement on y puisera de plus en plus largement pour alimenter la ville.

Reste leur minéralisation un peu élevée qui a pu faire planer des doutes sur leurs qualités. Mais on tend actuellement à réhabiliter les eaux même fortement minéralisées, en se tenant bien entendu dans des limites raisonnables.

On s'est aperçu qu'un excès de chlorure de sodium ou de sulfate de chaux n'avait pas les inconvénients que l'on pouvait croire pour la santé.

L'organisme humain qui en reçoit bien d'autres par les aliments, s'adapte très bien aux eaux qualifiées autrefois de lourdes, et qui présentent à coup sûr moins d'inconvénients que les eaux très peu chargées de sels et acides, tant recherchées jadis.

En ce qui concerne les usages industriels on ne peut le nier, ces eaux présentent de réels défauts; mais les moyens d'épuration et de correction sont si variés et, somme toute si faciles d'emploi, qu'il est bien aisé, le cas échéant, de se servir de l'un quelconque d'entre eux.

Alimenter les villes en eau potable pose un des premiers problèmes d'édilité, pas d'hygiène possible sans une telle base, nous pourrions multiplier les exemples probants. Il faut donc s'employer à résoudre ce problème par

tous les moyens, si on était tenté de l'oublier, les réalités en rappelleraient vite l'importance. La solution ne se trouve pas toujours sous la main, mais avec les facilités actuelles on peut aboutir.

Pourquoi, par exemple, s'en tenir au cadre communal et concevoir qu'une commune doit obligatoirement découvrir sur elle les quantités d'eau nécessaires. Voilà bien une des causes du retard dans la réalisation que nous déplorions tant au début. Combien le problème serait mieux résolu et plus rapidement s'il était traité dans un cadre plus général.

On parait s'orienter vers les syndicats de communes; on touche par là à la vraie solution du problème de l'eau, puissions-nous formuler le vœu qu'on en comprenne encore mieux l'importance pour aboutir plus vite.

Vu, Strasbourg, le 21 novembre 1936.

Le Président du Jury,
P. LAVIALLE.

Vu et approuvé :

Strasbourg, le 21 novembre 1936.

Le Doyen de la Faculté de Pharmacie,
A. SARTORY.

Vu et permis d'imprimer :

Strasbourg, le 24 novembre 1936.

Le Recteur de l'Académie,
Président du Conseil de l'Université,
J. DRESCH.

BIBLIOGRAPHIE

Annales de Géographie 1894. KILIAN : Les collines préjurassiennes et le Jura du Doubs.

Annales de Géographie 1901. BARRÉ : La haute vallée de la Saône.

Annales des Services techniques d'hygiène de la Ville de Paris.

Archives de la Ville de Vesoul : Service de la Voirie, Eaux et Fontaines.

Alimentation en Eau des Villes : Procédés d'analyse et de contrôle des eaux d'alimentation. Livre 2 : Dienert, Guillerd, Etrillard, Wandenbulke.

BOLLA : Contribution à l'étude des eaux d'alimentation de la région de Gray.

BRICHARD : Contribution à l'étude des eaux d'alimentation de Bar-le-Duc.

BROCARD : Contribution à l'étude des eaux d'alimentation de Gray.

Bulletins de la Société d'Agriculture de la Haute-Saône.

Cartes Géologiques de Langres, Lure, Gray, Montbéliard.

Courmont : Précis de Bactériologie.

— Précis d'hygiène.

Cardot de la Burthe : Vesoul à la fin du XVIII[e] siècle.

Chenot : Etude sur l'ammenée des eaux de la Fontaine au Diable à Vesoul.

Dalainzy : L'eau potable à Lunéville.

Dreyfuss : Les marnes du Lias en Franche-Comté.

— Contribution à l'étude de l'oligocène inférieur de la Haute-Saône.

Dienert : Etude de la dissolution des éléments constituant les sables alluvionnaires par les eaux souterraines.

L'Eau : Revue, Descroix, directeur.

Formulaire des Hôpitaux Militaires, tome 2.

Fournier : La recherche et le captage des eaux potables en Franche-Comté.

— Les eaux souterraines.

— Phénomènes d'érosion et de corrosion.

— Applications pratiques et scientifiques de la Spéléologie et de l'Hydrologie souterraine.

— Grottes et rivières souterraines.

— Les Gouffres.

Guillerd : Notions d'hydrologie appliquée à l'hygiène.

— Stabilisation des eaux ferrugineuses.

Gibert : La porte de Bourgogne et d'Alsace.

Gevrey : Histoire de Vesoul.

Gazier : La Franche-Comté.

Glomard : Microdosage du Magnésium par l'O. Oxyquinoléine.

Girardot : Le système Oolithique de la Franche-Comté septentrionale.

Guide illustré de la Haute-Saône.

Griveaud : Vesoul, ses vieilles rues, ses vieilles maisons.

Haugg : Traité de Géologie.

Imbeaux : Essai d'hydrogéologie.

— Qualités de l'eau et moyens de correction.

L'Illustration économique et financière : la Haute-Saône.

Jadin et Astruc : Précis d'hydrologie et de géologie.

Joanne : Géographie de la Haute-Saône.

Kling : Méthodes actuelles d'expertise : Eau et Air.

Kopaczwski : Physico chimie des eaux minérales.

Le Beuffe : Projet d'une installation d'eau potable pour la Ville de Vesoul.

Lheureux : Alimentation des Villes en eau potable.

Molliex : Analyse chimique des eaux potables.

— Analyse bactériologique des eaux potables.

Martel : Nouveau traité des eaux souterraines.

Magnien : Hydrographie souterraine.

Marechal : Les eaux d'alimentation dans le Doubs.

Mounier : Parvianalyse chimique et toxicologique des eaux potables.

Monnier : Histoire de la Ville de Vesoul.

Otto : L'eau.

Roux et Rochaix : Technique Bactérioscopique,

Rochaix : Recherche rapide de la contamination bactériologique des eaux de boisson.

Rochaix : L'importance de la conduite de l'expertise bactériologique pour la surveillance des eaux d'alimentation des villes.

Roux : Note historique sur Vesoul.

Rodillon : L'analyse des eaux.

Sartory : Contribution à l'étude de quelques Oosoprées isolées de l'eau, de l'air et du sol.

— Guide pratique des manipulations de Mycologie.

— La pratique des prélèvements.

Suchaux : La Haute-Saône, Dictionnaire des communes.

Schwers : Revue d'hygiène 1908.

Thirria : Statistique minéralogique et géologique du Département de la Haute-Saône.

Thirria Ed. : Manuel de la Haute-Saône.

Traité d'hygiène : Le sol et l'eau, de Launay, Martel, Bonjean.

Touplain : Analyse générale des eaux.

Villiers, Colin, Fayolle : Eaux, boissons.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos		1
1re PARTIE	Aperçu géographique, géologique et hydrogéologique de la région de Vesoul.	13
	Géologie de la région de Vesoul	19
	Les différents terrains	22
	Ressources hydrologiques de la région de Vesoul	28
	Considérations générales sur les émergences et les nappes aquifères de la région	29
	Ressources aquifères du Trias et du Lias	33
	Sources de l'Oolithe inférieure	40
	Etude sur la Font de Champdamoy	43
	Sources du Bathonien	50
	Niveau aquifère des Alluvions modernes	52
	Le fer dans les eaux d'alluvions	61
	Déferrisation des eaux	71
	Etude historique sur le développement de la ville et sur son alimentation en eau	75
	Les moyens proposés aux différentes époques pour l'améliorer	80
2e PARTIE	Analyses chimiques (Méthodes employées)	109
	Analyses bactériologiques (Méthodes employées)	136
3e PARTIE	La Fontaine Ferme de Navenne	157
	La Fontaine au Diable	170
	Les puits de la nappe alluviale de Frotey	193
Conclusions		221

Vesoul, Ancienne Imprimerie Cival

VESOUL
Imprim. CIVAL